



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ANTÔNIA BRUNA MESQUITA MACEDO**

**POÇOS RASOS E REÚSO DE ÁGUA COMO ALTERNATIVAS PARA  
SUSTENTABILIDADE HÍDRICA E ECONÔMICA NO PERÍMETRO IRRIGADO  
CURU PENTECOSTE, CEARÁ**

**FORTALEZA  
2016**

ANTÔNIA BRUNA MESQUITA MACEDO

POÇOS RASOS E REÚSO DE ÁGUA COMO ALTERNATIVAS PARA  
SUSTENTABILIDADE HÍDRICA E ECONÔMICA NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU  
PENTECOSTE, CEARÁ

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

FORTALEZA  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

---

M119p Macedo, Antônia Bruna Mesquita.  
Poços raros e reúso de água como alternativa para sustentabilidade hídrica e econômica no perímetro irrigado Curu Pentecoste, Ceará. / Antônia Bruna Mesquita Macedo.– 2016.  
119 f. : il. color.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,  
Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,  
Fortaleza, 2016.

Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

1. Irrigação. 2 Água – Uso. 3. Agricultura familiar. 4. Água - Qualidade I. Título.

---

CDD 630

ANTONIA BRUNA MESQUITA MACEDO

POÇOS RASOS E REÚSO DE ÁGUA COMO ALTERNATIVAS PARA  
SUSTENTABILIDADE HÍDRICA E ECONÔMICA NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU  
PENTECOSTE, CEARÁ

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em: 14/01/2016.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marisete Dantas de Aquino  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima  
Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE)

---

Dr. João Ribeiro Crisóstomo  
Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Danielle Ferreira de Araújo  
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

À minha mãe por me transmitir força e por ser, além de mãe, exemplo de humildade, simplicidade e alegria. Por me ensinar a ser uma pessoa melhor a cada dia, me incentivar sempre a buscar meus objetivos e ser parte fundamental dessa conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por tudo que representam na minha vida, por serem incentivadores e apoiar meu crescimento pessoal e profissional, sendo parte fundamental dessa conquista.

À Universidade Federal do Ceará, pela oportunidade concedida para realização deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará.

À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Funcap, pelo auxílio financeiro.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pelo auxílio financeiro.

Ao Prof. Raimundo Nonato Távora Costa, meu orientador do curso de doutorado, não somente pela qualidade na orientação imprescindível ao trabalho, mas por sua contribuição acadêmica e pessoal na minha formação profissional. Por quem tenho enorme admiração e gratidão, pela pessoa humana, pela confiança depositada em meu trabalho, pela amizade construída durante todos esses anos, pelo apoio incontestável, pela paciência, pela força nos momentos difíceis e pelo respeito. Por ser a pessoa a qual vou carregar comigo pelo resto da vida, pois além de construirmos uma relação profissional, saio dessa etapa com algo muito mais valioso que foi a construção de uma amizade verdadeira.

À amiga, colega de profissão e membro da banca, Danielle Ferreira de Araújo, por todo esse período de construção de amizade e respeito, tornando meus dias mais alegres durante minha jornada de conclusão do curso de Mestrado e Doutorado, por ser essa amiga e companheira para a vida inteira, e pela ajuda indispensável na conclusão desta Tese.

Aos demais membros da banca, Marisete Dantas de Aquino, Sílvio Carlos Ribeiro Vieira Lima e João Ribeiro Crisóstimo por terem aceitado prontamente ao meu convite, e terem disponibilizado tempo para contribuir no enriquecimento desta Tese.

A todos os professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da UFC, em especial aos professores Thales Vinícius, José Vanglésio, Julien Burte e Suetônio Mota, pelas contribuições realizadas no decorrer do estudo.

À equipe do DENA, pela ótima convivência.

Aos colegas do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água e Solo no Semiárido (GPEAS – Semiárido), por todos os anos de convívio e aprendizado diário. Pessoas que participaram efetivamente do meu crescimento profissional.

Aos funcionários da Fazenda Experimental do Vale do Curu - FEVC, pelos longos anos de aprendizado, convivência valiosa e pela ajuda constante.

Aos amigos de profissão, Almiro, Márcio Davy, Olavo, Lourenço, Tiago, Renata, Humberto, Paulo, Leila, Carlos Henrique, Dimas, Clemilda, Alexandre, Fernando e tantos outros que não estão citados por nomes que participaram efetivamente do meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos amigos de vida, Anatólia, Aline, Leila, Larissa, Érica, Vânia, Lorena e Lincoln, pelo apoio, amizade e conselhos durante esse período.

Às minhas irmãs, Fabíola, Vitória e Raquel pelas palavras de força e apoio.

Às minhas sobrinhas, Clara e Bárbara pelo sorriso cativante e alegria de viver.

A toda minha família, em especial minha tia Iria Aragão Macêdo pelo acolhimento e por proporcionar essa conquista. A todos meus primos, em especial Iara Macêdo e Cláudio Filho pela irmandade, conversas e brincadeiras.

À Maiara Nail Fernandes Lôbo, uma das pessoas mais importantes dessa jornada, sendo meu maior suporte nos momentos difíceis sem deixar que perdesse a confiança no meu potencial ou que desistisse dessa conquista, dando apoio, incentivando, sendo minha alegria diária e mostrando que merecia tudo aquilo que conquistei e ainda estou por conquistar na minha vida.

À Maria Cláutenes Fernandes Lôbo, por ser uma segunda mãe, apoiando, cuidando e incentivando durante todos esses anos.

A todos que conviveram comigo e contribuíram direta ou indiretamente para minha formação pessoal e profissional, expresse meus sinceros agradecimentos.

## RESUMO

A pesquisa teve como objetivo proporcionar informações a partir da análise de indicadores de viabilidade técnica e econômica da introdução de fontes alternativas de água oriundas de poços rasos e do reúso da água excedente da irrigação por superfície em sistemas localizados, além da substituição do cultivo tradicional da bananeira irrigada por sulcos por novos planos de cultivo com as culturas da abóbora e do mamoeiro no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, Ceará. Foram obtidos dados primários de produtividade da água de irrigação com a cultura do mamoeiro, além de dados secundários de produtividade da água de irrigação para as culturas da bananeira e da abóbora. Realizou-se análise econômica dos cenários propostos em substituição a bananeira irrigada por sulcos, cultura que apresenta baixo rendimento e tem por parte dos agricultores familiares o interesse em sua substituição. Além disso, foi analisada a capacidade de suporte em poços rasos tubulares para irrigação, considerando o cenário de recarga plena e de escassez hídrica. Para análise temporal dos parâmetros de qualidade da água de irrigação foram realizadas coletas em nove pontos representativos das fontes de água do perímetro irrigado, tais como canais, drenos coletores e poços rasos. Os dados de produtividade da água revelam que os planos de cultivo analisados associados às alternativas de fontes hídricas provenientes de poço raso tubular e de reúso do excesso da irrigação por superfície em sistemas localizados, se mostram bem mais atrativos do ponto de vista ambiental e econômico que o cultivo tradicional da bananeira irrigada por sulcos nas condições do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. Em todos os cenários analisados verifica-se que no fluxo de caixa as receitas passam a superar os custos para períodos inferiores há dois anos, e que as taxas internas de retorno são sempre superiores ao dobro da taxa interna correspondente ao cultivo tradicional da bananeira. A capacidade de suporte dos poços rasos tubulares destinados à irrigação no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, mesmo em um cenário caracterizado como de escassez hídrica, revela que a exploração desse recurso hídrico subterrâneo na região se mostra como uma alternativa viável para irrigação de pequenas áreas de agricultores irrigantes. A qualidade das fontes hídricas no perímetro irrigado apresentou de modo geral grau moderado de restrição ao uso, apresentando qualidade de água inferior no período seco, com maiores concentrações de sais devido à redução nos níveis hidráulicos e elevadas taxas de evaporação registradas no período.

**Palavras-chave:** Irrigação. Economia de água. Agricultor familiar. Reaproveitamento da água do excesso da irrigação por superfície. Qualidade de água.



## ABSTRACT

The research aimed to provide information based on the analysis of technical and economic viability indicators, introduction of alternative sources of water coming from shallow wells and reuse of excess surface water irrigation on localized systems, besides replacing the traditional banana crop by others crops such as pumpkin and papaya in the Irrigated Perimeter Curu Pentecost, Ceará. Primary irrigation water productivity data were obtained from the papaya crop, and secondary irrigation water productivity data for banana and pumpkin crops. An economic analysis of the proposed scenarios to replace the banana crop irrigated by furrows was conducted. Moreover, the capacity of tubular shallow wells for irrigation was analyzed considering the scenario of full recharge and water deficit. For temporal analysis of irrigation water quality parameters were collected samples at nine representative points of the water sources of the irrigated area, such as canals, drains collectors and shallow wells. Water productivity data reveal that the analyzed cultivation plans associated with alternative water sources from tubular shallow well and reuse of surface irrigation excess in localized systems, are more attractive from an environmental and economical point of view than the traditional banana crop irrigated by furrows in the conditions of the irrigated Curu Pentecost. It was verified that in all scenarios analyzed the cash flow revenues start to outweigh the costs for periods shorter than two years, and that the internal rates of return are always more than double the corresponding internal rate of traditional crops. The carrying capacity of tubular shallow wells for irrigation in the Irrigated Perimeter Curu Pentecost, even in a featured scenario as water scarcity, reveals that the exploitation of underground water resources in the region appears as a viable alternative for irrigation of small areas. The analysis of the water sources quality in the irrigated area showed a moderate restriction on use, with lower quality water in the dry season, with higher salt concentrations due to the reduction in the hydraulic levels and high evaporation rates recorded in the period.

**Keywords:** Irrigation. Water economy. Family farmer. Reuse of surface irrigation water. Water quality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Evolução da reserva hídrica nas bacias hidrográficas do estado do Ceará de 2009 a 2015 .....	20
Figura 2	Reserva hídrica nas bacias hidrográficas do estado do Ceará em 2015.....	20
Figura 3	Localização do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste na Bacia Hidrográfica do Curu .....	39
Figura 4	Precipitações mensais no Município de Pentecoste, anos 2010 a 2015, e média histórica de precipitação e evaporação de 1970-2014.....	40
Figura 5	Mapa de solos da Bacia do Curu e do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	41
Figura 6	Delimitação da área em estudo, abastecidas pelo canal P1 (A) e P2 (B), margeados pelo Rio Curu (C), no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	42
Figura 7	Canal secundário (A) e canal terciário com adução de água através de sifões (B) no Perímetro irrigado Curu Pentecoste.....	43
Figura 8	Unidade de experimentação com mamoeiro irrigado por sulcos (A) com água do canal (B) .....	45
Figura 9	Unidade de experimentação com mamoeiro irrigado de forma localizada (A) com água de reúso do excesso da irrigação por sulcos (B).....	46
Figura 10	Fontes de água para irrigação da abóbora: canal (A) e poço raso tubular (B). ....	47
Figura 11	Fonte de água para irrigação localizada da abóbora (A), utilizando reúso do excesso da irrigação por sulcos (B) .....	48
Figura 12	Localização dos poços rasos tubulares instalados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	53
Figura 13	Localização dos poços rasos tubulares no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	54
Figura 14	Conjunto motobomba à gasolina e tambor de 200 L utilizados nos testes de vazão dos poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	55
Figura 15	Medição do nível estático em um poço raso tubular localizado no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	56
Figura 16	Área com plotagem dos pontos de coleta de água para análise dos parâmetros físicos e químicos para as diferentes fontes hídricas do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-CE .....	57
Figura 17	Imagem de satélite do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-CE mostrando o rio Curu, indicando os dois pontos de coleta para análise microbiológica da água.....	58
Figura 18	Coleta de água para determinação dos parâmetros físicos e químicos das fontes hídricas do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste: (A) Recipiente de Coleta, (B) Identificação do Recipiente, (C) Coleta Poço Raso, (D) Coleta Rio, (E) Coleta Canal e (F) Coleta Dreno.....	60
Figura 19	Coleta de água para determinação dos parâmetros microbiológico em dois trechos do rio Curu no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	60
Figura 20	Produtividade da água ( $R\$ m^{-3}$ ) para os cultivos da bananeira, do mamoeiro e da abóbora irrigada por sulcos. ....	63
Figura 21	Produtividade ( $kg ha^{-1}$ ) dos diferentes cultivos estudados com métodos de irrigação por superfície e localizado utilizando fonte de água proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície e de poço raso .....	64

Figura 22	Produtividade da água (R\$ m <sup>-3</sup> ) dos diferentes cultivos estudados com métodos de irrigação por superfície e localizado utilizando fonte de água proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície e de poço raso.....	66
Figura 23	Produtividade da água (R\$ m <sup>-3</sup> ) e seus respectivos incrementos tomando como referente a substituição da bananeira por outros cultivos, além da mudança do método de irrigação para localizada.....	67
Figura 24	Perfil litológico dos poços P1 e P4 localizados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	82
Figura 25	Varição da vazão dos poços monitorados, nos setores hidráulicos C e D do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, nos anos de 2002 e 2013. ....	83
Figura 26	Pluviometria anual e média (traço preto) na estação agrometeorológica da FEVC/UFC, localizada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, a partir de dados mensais de pluviometria (período 1970-2014).....	83
Figura 27	Varição do nível estático, vazão e condutividade elétrica dos poços monitorados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, nos anos de 2002 (esquerda) e 2013 (direita). ....	84
Figura 28	Trecho do rio Curu em 2013 (A) e 2014 (B), adução de água em cacimbas escavadas no leito do rio (C) e utilização para irrigação por superfície de áreas no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	85
Figura 29	Varição dos níveis estáticos de poços monitorados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste de 2013 a 2015.....	86
Figura 30	Correlação entre a vazão produzida e a profundidade total dos poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste (2002).....	86
Figura 31	Variabilidade espacial dos valores médios do magnésio na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	90
Figura 32	Variabilidade espacial dos valores médios do bicarbonato na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	90
Figura 33	Variabilidade espacial dos valores médios do cloreto na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	91
Figura 34	Variabilidade espacial dos valores médios do potássio na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	92
Figura 35	Variabilidade espacial dos valores médios do cálcio na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	92
Figura 36	Variabilidade espacial dos valores médios do sódio na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	93
Figura 37	Variabilidade espacial dos valores médios do pH na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	93
Figura 38	Variabilidade espacial dos valores médios da RAS na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	94
Figura 39	Variabilidade espacial dos valores médios da condutividade elétrica na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	95
Figura 40	Variabilidade espacial dos valores médios dos sólidos dissolvidos na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	95
Figura 41	Variabilidade temporal dos valores médios dos parâmetros de qualidade da água nos diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, período seco e chuvoso (setembro/13 a março/15).....	97
Figura 42	Diagrama de classificação das águas de irrigação segundo nos diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, período seco (setembro/13 e setembro/14). ....	99

Figura 43	Diagrama de classificação das águas de irrigação nos diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, período chuvoso (março/14 e março/15).....	99
Figura 44	Estação de tratamento de efluentes localizada no Distrito da Serrota, local próximo ao ponto de coleta (R1). .....	101

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Atributos químicos da água do canal na unidade de experimentação com mamoeiro irrigado por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	45
Tabela 2	Atributos físicos e químicos da água de reúso do excesso da irrigação por sulcos na unidade de experimentação com mamoeiro irrigado de forma localizada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste .....	46
Tabela 3	Cenários de planos de cultivo e métodos de irrigação como alternativa à substituição da bananeira irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	50
Tabela 4	Identificação, localização e dados de vazões obtidas na época de instalação dos poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste (2002).....	55
Tabela 5	Identificação e localização dos pontos de coleta de água para análise dos parâmetros físicos e químicos para as diferentes fontes hídricas do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-CE.....	57
Tabela 6	Identificação e localização dos pontos de coleta de água para análise microbiológica do rio Curu no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-CE.....	58
Tabela 7	Parâmetros físicos e químicos para avaliação da qualidade da água.....	61
Tabela 8	Parâmetros microbiológicos para avaliação da qualidade da água.....	61
Tabela 9	Valores de produtividade da água em ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e ( $\text{R\$ m}^{-3}$ ) para diferentes cultivos estudados e sistemas de irrigação no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	62
Tabela 10	Custo total em valores nominais para 1,0 hectare de bananeira irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	69
Tabela 11	Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de bananeira irrigada por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	70
Tabela 12	Custo total em valores nominais para 1,0 hectare de mamoeiro irrigado por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	70
Tabela 13	Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de mamoeiro irrigado por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	71
Tabela 14	Custo total em valores nominais para 1,0 hectare de mamoeiro irrigado de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	72
Tabela 15	Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de mamoeiro irrigado de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	72
Tabela 16	Custo total em valores nominais para 1,0 hectare de abóbora irrigada por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste* .....	73
Tabela 17	Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de abóbora/milho/feijão irrigados por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste* .....	73
Tabela 18	Custo total em valores nominais para um (1,0) hectare de abóbora/milho/feijão irrigados de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste* .....	74
Tabela 19	Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de abóbora/milho/feijão irrigados de	

	forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste* .....	75
Tabela 20	Custo total em valores nominais para um (1,0) hectare de abóbora/milho/feijão irrigados de forma localizada com água proveniente de poço raso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste* .....	75
Tabela 21	Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de abóbora/milho/feijão irrigados de forma localizada com água proveniente de poço raso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste* .....	76
Tabela 22	Valores nominais das receitas brutas dos cultivos analisados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste para um (1,0) hectare. ....	77
Tabela 23	Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de bananeira irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	78
Tabela 24	Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de mamoeiro irrigado por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	78
Tabela 25	Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de mamoeiro irrigado de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste .....	78
Tabela 26	Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de abóbora irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. ....	79
Tabela 27	Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de abóbora irrigada de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste .....	79
Tabela 28	Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de abóbora irrigada de forma localizada com água proveniente de poço raso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste .....	79
Tabela 29	Valor presente líquido (VPL), relação benefício/custo (B/C), taxa interna de retorno (TIR) e período “payback” (PB) para cada cenário de cultivo estudado. ....	80
Tabela 30	Vazões dos poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste nos anos de 2002 e 2013. ....	81
Tabela 31	Capacidade de suporte (ha) de poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste para condição de irrigação com demanda livre* e jornada de 12 h** .....	87
Tabela 32	Valores dos quadrados médios (Q.M.), F calculado (Fc) e da significância estatística (Pr) dos parâmetros de qualidade de água. ....	88
Tabela 33	Teste de comparação das médias dos parâmetros de qualidade de água. ....	89
Tabela 34	Coefficiente de variação temporal para os parâmetros de qualidade da água nos diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste .....	96
Tabela 35	Parâmetros microbiológicos para avaliação da qualidade da água.....	100

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA .....	17
2.1	A água no semiárido brasileiro.....	17
2.2	Implantação de projetos públicos de irrigação no Brasil.....	21
2.3	Modernizações de áreas irrigadas.....	23
2.4	Produtividade da água .....	25
2.5	Recursos Hídricos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste .....	28
2.5.1	Águas Superficiais.....	28
2.5.2	Águas subterrâneas .....	31
2.6	Qualidade da água para irrigação .....	34
2.7	Avaliação econômica de áreas irrigadas.....	36
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1	Descrição da área de estudo .....	39
3.1.1	Localização.....	39
3.1.2	Clima .....	40
3.1.3	Relevo e tipos de solos .....	41
3.1.4	Infraestrutura de Irrigação .....	42
3.2	Planos de cultivo .....	43
3.3	Unidades experimentais instaladas com o cultivo do mamoeiro .....	44
3.3.1	Unidade de experimentação com mamoeiro irrigado por sulcos com água do canal.....	44
3.3.2	Unidade de experimentação com mamoeiro irrigado por microaspersão com água de reúso do excesso da irrigação por sulcos .....	45
3.4	Dados de produção do cultivo da abóbora no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	47
3.4.1	Dados de produção da abóbora irrigada por sulcos com água do canal e irrigada por gotejamento com água de poço raso tubular .....	47
3.4.2	Dados de produção da abóbora irrigada por sulcos com água do canal e irrigada por gotejamento com água de reúso do excesso da irrigação por sulcos.....	48
3.5	Dados de produção do cultivo da bananeira no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	49
3.6	Produtividade da água .....	49
3.7	Análise econômica .....	50
3.8	Capacidade de suporte de poços rasos tubulares para a irrigação .....	53
3.9	Qualidade da água de irrigação .....	56
3.9.1	Pontos de coleta.....	56

3.9.2	Período de realização das coletas .....	59
3.9.3	Procedimentos para a coleta das amostras de água .....	59
3.9.4	Parâmetros analisados .....	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	62
4.1	Produtividade da água .....	62
4.2	Análise econômica .....	68
4.2.1	Custos totais .....	68
4.2.2	Receitas brutas.....	76
4.2.3	Análise dos indicadores de rentabilidade .....	77
4.3	Capacidade de suporte de poços rasos tubulares à irrigação .....	81
4.4	Qualidade da água .....	88
4.4.1	Avaliação espacial dos pontos de amostragem .....	88
4.4.2	Avaliação temporal dos pontos de amostragem .....	96
4.4.3	Classificação microbiológica em águas do Rio Curu.....	100
5	CONCLUSÃO.....	102
	REFERÊNCIAS .....	103
	APÊNDICES .....	113



## 1 INTRODUÇÃO

No semiárido nordestino os problemas da seca e da pobreza são bastante conhecidos, no entanto, algumas ações governamentais vêm sendo desenvolvidas ao longo do tempo no intuito de minimizar esses problemas. Durante a década de 1970, o Governo Federal implantou uma série de perímetros irrigados, objetivando viabilizar principalmente a produção agrícola dos pequenos agricultores familiares.

Dentre esses perímetros, insere-se o Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, implantado nos municípios de Pentecoste e São Luís do Curu, o qual possui uma área implantada com infraestrutura de uso comum destinada à utilização do método de irrigação por superfície, sendo a água conduzida por gravidade através de canais dos açudes públicos federais General Sampaio e Pereira de Miranda.

Esse método de irrigação é um dos mais extensivamente utilizados, por apresentar como vantagens, a possibilidade, na maioria dos casos, da condução de água por gravidade, portanto, sem custos relativos a bombeamento da água, além de apresentar baixo custo anual por unidade de área. No entanto, como principal desvantagem, observam-se para as condições dos Perímetros Irrigados Públicos Federais no Brasil, o baixo nível de eficiência com grande desperdício de água, seja pela baixa eficiência de condução, manejo ineficiente praticado pelos agricultores ou pelas próprias perdas por percolação profunda, em áreas cujos solos apresentam elevada capacidade de infiltração.

Nos perímetros irrigados por superfície, no Brasil, não existe por parte do poder público, disposição em investir na infraestrutura de uso comum para propiciar alternativa de mudança no método de aplicação de água atual para sistemas pressurizados localizados. No entanto, com o aproveitamento de águas subterrâneas através de poços rasos e do reaproveitamento de água oriunda do excesso da irrigação por superfície, tem-se a possibilidade da utilização de sistemas de irrigação localizados, como forma de propiciar segurança hídrica para o Perímetro Irrigado.

Cabe destacar que atualmente, dezembro de 2015, os reservatórios que abastecem o Perímetro Irrigado Curu Pentecoste se encontram com 2% de suas capacidades de armazenamento de água e, em base a uma decisão do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Curu, a disponibilidade de água para irrigação foi suspensa há dois anos.

Complementarmente, urge a necessidade de estudos que analise a viabilidade da inserção de cultivos que apresente uma melhor resposta quanto ao indicador produtividade da

água. No Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, a cultura da bananeira, apesar de representar 35% da área cultivada, tem apresentado em geral, baixo nível de produtividade associado a elevadas dotações de água, havendo um número significativo de agricultores com disposição em substituí-la por novos cultivos.

A pesquisa pressupõe que a irrigação com água oriunda de poços rasos e reaproveitamento da água excedente da irrigação por sulcos em sistemas localizados com novos planos de cultivo, proporciona um incremento de pelo menos 50% na produtividade da água, além de uma maior rentabilidade econômica, comparativamente ao sistema de produção tradicional do cultivo da bananeira irrigada por sulcos.

A partir desta hipótese, foi objetivo geral da tese analisar sob a ótica de indicadores econômicos e de sustentabilidade hídrica, planos de cultivo com as culturas da abóbora e do mamoeiro sob irrigação localizada com água proveniente de reúso do excesso da irrigação por sulcos e de poço raso tubular como alternativas ao cultivo tradicional da bananeira irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, Ceará.

Especificamente, a tese objetivou:

1 – Determinar a produtividade da água de irrigação dos cenários de planos de cultivo e respectivas fontes alternativas de água no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste;

2 – Analisar comparativamente os cenários de planos de cultivo e respectivas fontes alternativas de água em base aos indicadores de rentabilidade da análise de investimento.

3 – Analisar a capacidade de suporte para irrigação em poços rasos tubulares considerando os cenários de recarga plena e de escassez hídrica.

4 – Analisar atributos de qualidade da água de irrigação provenientes de canal, rio, drenos coletores e poços rasos distribuídos no Perímetro Irrigado durante períodos chuvosos e não chuvosos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A água no semiárido brasileiro

A água é um recurso natural finito e essencial à vida, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies, como elemento representativo de valores sociais e culturais, além de importante fator de produção no desenvolvimento de diversas atividades econômicas (BERNARDI, 2003).

Considerando que os recursos hídricos acessíveis ao consumo humano direto constituem uma fração mínima do capital hidrológico, e que a cada dia é um recurso cada vez mais escasso, seja pelo crescimento da população e de atividades econômicas, com aumento da demanda, seja pela redução da oferta, está condicionada especialmente pela poluição dos mananciais. Por via de consequência, o preço teórico da água tende a elevar-se, tendo em vista que a demanda está aumentando e a oferta diminuindo (BERNARDI, 2003).

O relatório Intergovernamental Panel on Climate Change (IPCC), sobre as mudanças climáticas concluiu, com mais de 90% de confiança, que o aquecimento global dos últimos 50 anos é causado pelas atividades humanas. Segundo Marengo (2007), os resultados deste estudo para a América do Sul indicam que as mudanças climáticas mais intensas para o final do Século XXI, relativas ao clima atual, aconteceram na região tropical, especificamente na Amazônia e no Nordeste do Brasil. Estas duas regiões são, portanto, as mais vulneráveis do Brasil às mudanças de clima.

Apesar de o Brasil ser detentor de, aproximadamente, 15% das águas doces do planeta, a maior parte desse recurso (70%) está na bacia Amazônica, onde vivem somente 7% da população. Assim sendo, a maior parte da população nacional tem que dividir os 30% restantes. Outro dado importante é que mais da metade da água consumida no Brasil é utilizada na agricultura irrigada, apesar do País ter só cerca de 5% de área cultivada irrigada (PAZ; TEODORO; MEDONÇA, 2000).

Segundo o Ministério da Integração Nacional (BRASIL, 2005), o semiárido brasileiro abrange quase um quinto do território nacional com nove Estados, somados com a porção norte de Minas Gerais, numa área de 969.589,4 km<sup>2</sup>, com um total de 1.333 municípios integrantes da região semiárida.

A disponibilidade e usos da água na região Nordeste do Brasil, particularmente na região semiárida, continua a ser uma questão crucial no que concerne ao seu desenvolvimento. É fato que grandes esforços vêm sendo empreendidos com o objetivo de implantar infraestruturas capazes de disponibilizar água suficiente para garantir o abastecimento humano e animal e viabilizar a irrigação. Todavia, esses esforços ainda são, de forma global, insuficientes para resolver os problemas decorrentes da escassez de água, o que faz com que as populações continuem vulneráveis à ocorrência de secas, especialmente quando se trata do uso difuso da água no meio rural. De qualquer modo, a ampliação e o fortalecimento da infraestrutura hídrica, com uma gestão adequada, constituem requisitos essenciais para a solução do problema, servindo como elemento básico para minimizar o êxodo rural e promover a interiorização do desenvolvimento (CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2010).

A agricultura irrigada depende inteiramente da disponibilidade ou alocação específica de recursos hídricos. Não existe alternativa, sem água destinada para este fim a atividade deixa de existir. As vazões demandadas pela agricultura irrigada já apresentam alguns conflitos com o abastecimento humano, anualmente o que é consumido por um hectare irrigado seria suficiente para abastecer mais de 100 pessoas consumindo 250 L dia<sup>-1</sup>, dependendo da região e das culturas irrigadas (BRASIL, 2008).

No entanto, a segurança alimentar depende cada vez mais da produção de alimentos proveniente da agricultura irrigada, o que a coloca, irrevogavelmente, dependente da segurança hídrica, ou seja, sua sustentabilidade. Segundo documento produzido pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2002) pode-se verificar que 80% dos produtos necessários para satisfazer as necessidades da população mundial, nos próximos 25 anos, serão providos pelos cultivos irrigados.

Segundo Fernandez e Garrido (2002), considera-se água para a agricultura irrigada o volume desse recurso natural que não é suprido naturalmente por meio de chuvas, sendo necessária a aplicação artificial aos cultivos, de forma a otimizar o seu desenvolvimento biológico. Por meio da irrigação, pode-se intensificar a produção agrícola, regularizando, ao longo do ano, as disponibilidades e os estoques de cultivares, uma vez que esta prática permite uma produção na contra estação. Além disso, a agricultura irrigada reduz as incertezas, prevenindo o agente econômico (irrigante) contra a irregularidade das chuvas anuais e interanuais.

O Brasil apresenta índices médios de chuva superiores a 1500 mm ano<sup>-1</sup>, chegando até mesmo a ultrapassar os 2000 mm, como na faixa equatorial Amazônica, que apresenta

máximas superiores a 3000 mm ano<sup>-1</sup>. Entretanto, exceções acontecem no Nordeste Brasileiro, onde ocorre diminuição dessa média para cerca de 1000 mm (Cunha, 2001), ou mesmo para valores inferiores a 500 mm ano<sup>-1</sup>.

Nas projeções elaboradas pelo Instituto Internacional de Gestão das Águas – IWMI (International Water Management Institute), muito embora, o Brasil seja um dos países com maior disponibilidade hídrica média anual por habitante, está inserido na categoria de países com escassez econômica de água. Dispõe de quantidade suficiente de água para atender às suas necessidades, mas possui região semiárida com má distribuição espacial e temporal de precipitações, o que implica em investimentos na construção de reservatórios para armazenamento e regularização hídrica e em construção de sistemas de condução, como forma de garantir a utilização da água no seu desenvolvimento sustentável.

Esses reservatórios desempenham relevante papel na gestão de recursos hídricos pela capacidade de estocar e atender a diversos usos da água seja eles consuntivos ou não consuntivos. Além de armazenar água nos períodos úmidos, podem liberar parte do volume armazenado nos períodos de estiagem, contribuindo, deste modo, para a garantia da oferta de água para abastecimento e irrigação.

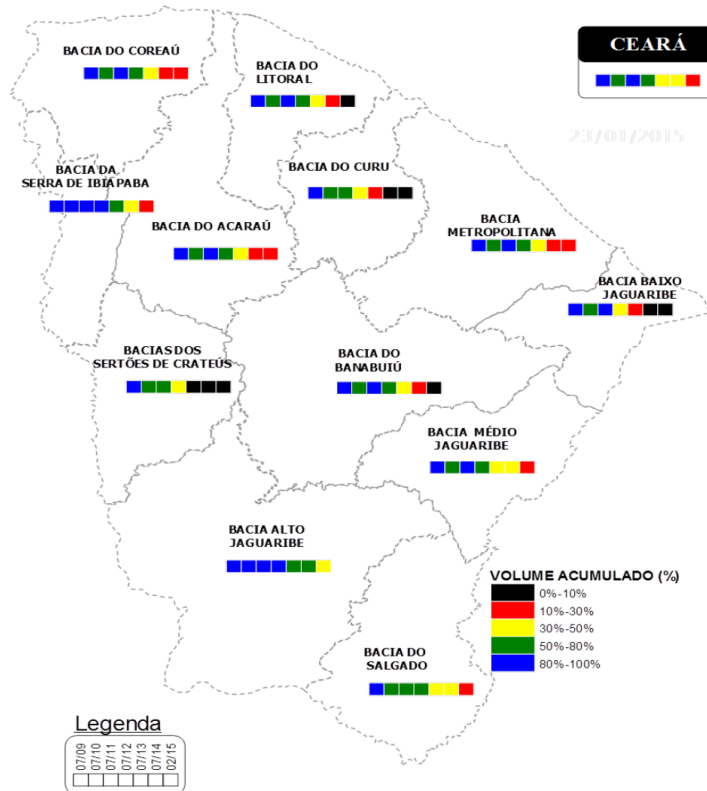
O balanço hídrico dos últimos anos nos principais reservatórios em operação no país mostra uma situação preocupante em relação à segurança hídrica de algumas regiões. Em especial, o estado do Ceará passa por uma das piores secas da sua história, talvez a pior desde 1958. A Bacia do Curu encontra-se entre as bacias hidrográficas mais críticas em termos de reserva hídrica do estado (FIGURA 1).

Segundo o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs, 2013), a bacia hidrográfica do Curu, cujo monitoramento é realizado em um total de oito açudes, com capacidade de acumulação de 966 milhões de m<sup>3</sup>, no ano de 2013 encontrava-se com cerca de 194 milhões de m<sup>3</sup>, ou seja, cerca de 20% apenas de seu potencial de armazenamento.

Ao final da quadra invernososa de 2014, todos os oito açudes monitorados pelo Dnocs na bacia hidrográfica do Rio Curu, que cobre 15 municípios e 5,76% do território do Ceará, estavam em volume morto, ou seja, com volume de armazenamento abaixo de 10%.

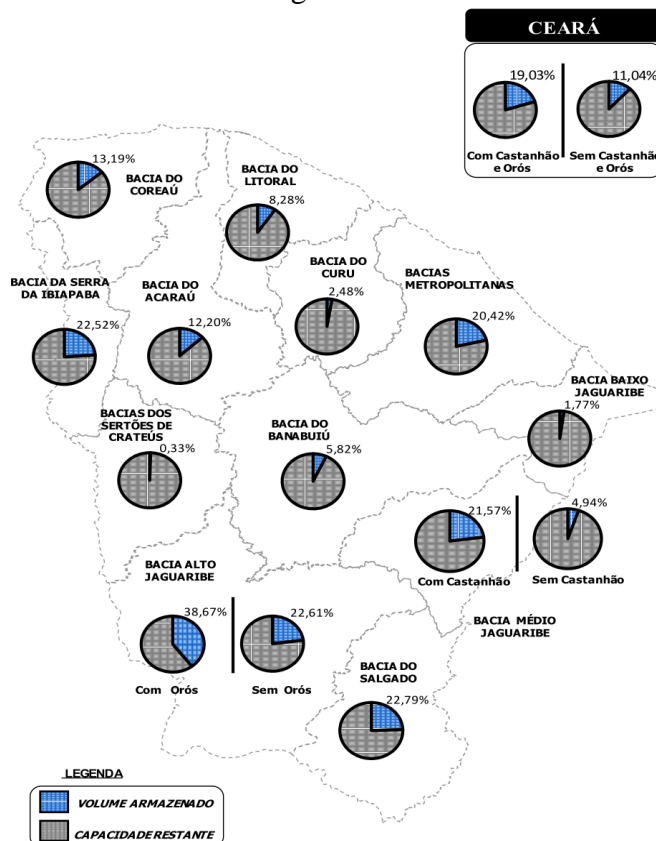
Segundo a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh, 2015), a bacia do Curu encontra-se entre as três bacias hidrográficas mais críticas em termos de reserva hídrica do estado, apresentando no mês de fevereiro de 2015 um percentual de armazenamento de água em torno de 2,5% (FIGURA 2).

Figura 1 – Evolução da reserva hídrica nas bacias hidrográficas do estado do Ceará de 2009 a 2015



Fonte: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, COGERH (2015).

Figura 2 – Reserva hídrica nas bacias hidrográficas do estado do Ceará em 2015



Fonte: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, COGERH (2015).

Este quadro de incertezas quanto à disponibilidade e à qualidade das águas, gera insegurança na tomada de decisão de políticas de recursos hídricos e de desenvolvimento agropecuário e socioeconômico para a região, necessitando de medidas de planejamento e gestão dos recursos hídricos, visando atender à demanda da população, de forma permanente.

## **2.2 Implantação de projetos públicos de irrigação no Brasil**

As políticas agrícolas no semiárido brasileiro, desde os anos 1960, vêm acompanhadas da implantação dos perímetros irrigados como estratégia geopolítica de expansão seletiva da fronteira agrícola, na perspectiva da indução do desenvolvimento (BECKER; EGLER, 2003). Os perímetros irrigados são áreas delimitadas pelo Estado para implantação de projetos públicos de agricultura irrigada que, em geral, possuem significativo potencial agricultável, caracterizado pelos solos férteis, presença hídrica, clima favorável e abundante força de trabalho. Estes elementos conjugados às infraestruturas implementadas favorecem ampla produtividade agrícola.

A implantação de projetos públicos de irrigação no Brasil foi acima de tudo uma tentativa de inserção de famílias de agricultores, objetivando mudanças no processo produtivo, saindo de uma agricultura tradicional para uma exploração racional dos solos e da água. Sem querer desconhecer que os projetos efetivamente geraram e estão gerando benefícios socioeconômicos, o processo é merecedor das críticas que são apresentadas, o que pode ser comprovado pelo não alcance das metas estabelecidas para muitos projetos. A ênfase sempre foi colocada nas obras, relegando-se a um segundo plano a verdadeira finalidade do projeto que era a geração de riqueza através da produção agrícola irrigada e sua integração em uma ou várias cadeias produtivas.

Com base nos dados disponibilizados pelo Departamento Nacional de Obras contra as Secas (Dnocs), entre 1968 e 1992, foram construídos pelo Governo Federal 35 perímetros públicos irrigados na região semiárida nordestina, com destaque para o Ceará, onde foram instalados 40% de todos os perímetros. É possível identificar três períodos de construção: 80% dos perímetros iniciaram sua instalação no período de 1968-1979; 17% no segundo período, de 1980-1989; e apenas um perímetro, o Tabuleiros de Russas, no Ceará, teve sua construção iniciada na década de 1990 (PONTES *et al.*, 2013).

Até o ano de 2002, a construção de sistemas públicos de irrigação foi o principal objetivo, explícito ou não, do Programa de Irrigação e Drenagem. No ano seguinte, com o

intuito de ampliar a visão do poder público sobre o setor, mudou-se o nome do referido programa, que passou a ser “Desenvolvimento da Agricultura Irrigada”, com mudanças também de seus objetivos. A ideia central era deslocar o foco do componente “obras” para o componente “crescimento da agricultura irrigada”, sem diferenciar entre público e privado, na perspectiva do papel que poderia assumir a irrigação no desenvolvimento regional do País.

A responsabilidade pela implantação dos projetos públicos de irrigação tem correspondido, quase que exclusivamente, à Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf) e ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs). Essas instituições, ao longo de suas trajetórias, têm se situado sob o comando de diversos ministérios, sem, contudo, mudar sua forma de intervenção, caracterizada por uma ação voltada para a seleção através da elaboração de planos diretores e/ou estudos de pré-viabilidade de áreas propícias para a implantação de sistemas de irrigação.

A sistemática, com poucas variações de um órgão para outro, praticamente, não consultava mais nada além dos dois parâmetros acima mencionados: solos e água. Sempre se constituiu numa típica ação “de cima para baixo”, onde os níveis estaduais e municipais não participavam da tomada de decisão sobre a conveniência ou não da implantação das obras. Os estudos de viabilidade, muito mais do que aferir o verdadeiro potencial socioeconômico de um empreendimento hidroagrícola no local escolhido, sempre foram dirigidos pelo organismo empreendedor para respaldar uma decisão tomada antes da contratação do estudo.

Segundo Meinzen-Dick e Raju (2002), uma combinação de deficiências da gestão do Estado nos projetos de irrigação e os sérios problemas fiscais voltados ao setor de irrigação tem contribuído para a adoção de políticas de retirada do poder público da administração dos projetos de irrigação em muitos países.

No Brasil, o serviço de distribuição da água aos lotes irrigados até a década de 1980 era efetuado diretamente pelo Estado. Com as alterações na legislação, em 1996, foi implantado o Programa de Emancipação dos Perímetros Irrigados (Proema), sob as orientações do Programa Nacional de Irrigação e Drenagem (Pronid), com priorização nas ações educativas e organizacionais dos irrigantes, dando-se ênfase à capacitação técnico-gerecinal, objeto central da transferência da gestão dos perímetros públicos de irrigação (ALBUQUERQUE; MONTE; PAULA, 2010).

Com a sanção da Lei 10.204 (BRASIL, 2001), o Governo estabeleceu um prazo de cinco anos para que o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs) concluísse a



implantação do Proema, com transferência definitiva das ações do Estado para as organizações de irrigantes ou para outras entidades de direito privado.

Nesse contexto, encontra-se o Perímetro Irrigado Curu Pentecoste localizado no Estado do Ceará, na microrregião de Uruburetama (Vale do Rio Curu), apresentando ocupação quase majoritária de irrigantes familiares, característica essa observada também em outros perímetros públicos mais antigos do Nordeste. Sua construção foi realizada pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (Dnocs), e dentro das formas de atuação previstas na época de sua implantação, foi intensamente assistida pelo Dnocs em seus primeiros anos, tendo o irrigante e sua família toda forma de assistência. Entretanto, ao longo dos anos esse quadro vai se modificando, e atualmente sua administração é realizada pela Associação dos Usuários do Distrito de Irrigação do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste - Audipecupe.

Os perímetros irrigados mais antigos do Nordeste possuem em sua grande maioria infraestrutura de uso comum destinada à utilização de método de irrigação por superfície, sendo o caso do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. Segundo Santos (2008), o perímetro irrigado possui baixo índice de desempenho dos sistemas de irrigação por sulcos, traduzidos nas baixas eficiências de aplicação do sistema, decorrente dos elevados tempos de aplicação de água realizados por parte dos agricultores familiares, uma vez que o calendário de entrega de água do Distrito de Irrigação não atende aos turnos de rega recomendados para a maioria das culturas e unidades de solo da região.

Não se vislumbra perspectiva de ações governamentais por parte do poder público para mudança da infraestrutura de uso comum, proporcionando a modernização e introdução de método de irrigação pressurizado ao longo de todo o perímetro. No entanto, com o aproveitamento das águas subterrâneas através dos poços rasos tubulares instalados no perímetro e do reaproveitamento do excesso da irrigação por superfície, é possível a conversão do método de irrigação para atender novas áreas irrigáveis através de sistemas de irrigação localizados.

### **2.3 Modernizações de áreas irrigadas**

De acordo com Frizzone (2005 *apud* Lima, 2009), o investimento com métodos de irrigação mobiliza grande quantidade de capital que poderia ser empregado em outra atividade, onde são direcionados os recursos muitas vezes limitados em uma única aquisição

reduzindo drasticamente sua utilização para outros fins. Segundo esse autor, o êxito esperado da agricultura irrigada não depende apenas do método de irrigação utilizado, e sim de diversos fatores, dentre os quais, ressalta os fertilizantes, defensivos, sementes de bom potencial genético, cultivos adaptáveis ao tipo de solo, maquinaria e implementos agrícolas adequados, facilidade de crédito e comercialização dos produtos, disponibilidade de mão-de-obra, assistência técnica contínua e permanente, capacitação e organização dos agricultores.

Segundo Frizzone (2010), o grau de desenvolvimento que segue a agricultura irrigada em alguns países é uma valiosa oportunidade para acumular experiência. O desenvolvimento que tem acontecido em certos países, as razões e as aptidões ambientais para tal desenvolvimento, fornecem indicações para o desenvolvimento em outros países. Existe uma progressão natural dentro da sociedade para adaptar e refinar sua tecnologia de irrigação com base na sua própria história e no ambiente político/técnico/econômico. Tem ocorrido aprimoramentos no sentido de melhorar a eficiência de uso da água e conservação da energia (sistematização do terreno a laser para irrigação por superfície; irrigação por superfície com vazão intermitente; sistema de reúso da água escoada no final da parcela; substituição de sistemas de irrigação menos eficientes por mais eficientes). Estes aprimoramentos têm seguido aproximações passo-a-passo e, enquanto as restrições têm sido atenuadas, novos desafios têm sido encontrados.

Na Espanha, desde o ano 2000 foram realizados elevados investimentos na modernização da irrigação com o principal objetivo de economizar recursos. Mas eles têm realmente servido para economizar água? Aproximadamente 15% das áreas cultivadas na Espanha são ocupadas por culturas irrigadas, e cerca de três milhões e meio de hectares consome quase 70% da água do país (WWF, 2015). Segundo a organização World Wide Fund for Nature, em 1980 as áreas irrigadas na Espanha com irrigação por superfície eram de 80%, em 2012 esse percentual caiu para 29%. No mesmo período, a irrigação por gotejamento teve um aumento de 2% para 47% das áreas irrigadas, enquanto a aspersão aumentou sua área irrigada para 24%.

A modernização da irrigação na Espanha não teve os resultados esperados em termos de poupança de água. A falta de transparência e boa informação sobre um conceito claro de economia de água, com projetos mal executados e uma aplicação falha das leis e dos princípios de recuperação de custos têm sido a base fraca desse processo de modernização. Nesse caso, a modernização da irrigação não só não representou uma economia de água, mas levou a uma intensificação dos usos agrícolas, produzindo o efeito contrário ao pretendido.

Oportunidades para melhorar o desempenho dos sistemas de irrigação, sem dúvida, existem, mas são cada vez mais difíceis de conseguir, e raramente da magnitude sugerida em debates populares (PERRY *et al.*, 2009).

De acordo com Playán e Mateos (2006), a modernização dos sistemas de irrigação oferece várias possibilidades para ampliar a produtividade da água. Esta ideia originalmente se restringia à introdução de novas infraestruturas e equipamentos. Agora, a modernização é entendida como uma fundamental transformação no manejo dos recursos hídricos e que combina mudanças nas regras e estruturas institucionais, serviço de abastecimento de água, calendários de irrigação e serviços de orientação e capacitação, tudo isso, além da introdução de equipamentos e tecnologias modernas.

## **2.4 Produtividade da água**

Muitos pesquisadores têm proposto indicadores para avaliar a utilização da água na produção de culturas agrícolas, bem como, avaliar o desempenho de sistemas agrícolas irrigados (BOS *et al.*, 1994; PERRY, 1996). A eficiência técnica da irrigação, que é a forma de realizar as mesmas atividades, mas usando pouca água, é a alternativa para o problema da escassez de água, preferida pelos tomadores de decisões. Para avaliar o efeito da eficiência técnica numa determinada sociedade, requer-se uma discussão sobre a produtividade da água (PLAYÁN; MATEOS, 2006).

Segundo Pereira, Oewis e Zairi (2002) o termo produtividade da água (PA) é definido como a razão entre a produção de biomassa e a quantidade de água utilizada. Para o cálculo, pode-se considerar o fator “quantidade de água” tanto em termos da evapotranspiração da cultura (ETc) como pelo total de água que entra no sistema produtivo, incluindo-se, neste caso, as perdas por escoamento superficial e percolação profunda, bem como devido as perdas inerentes a aplicação via sistemas de irrigação.

Na literatura, muitos autores utilizam o termo eficiência do uso da água (EUA) como sinônimo da produtividade da água (PA). Contudo, ocorrem algumas confusões com o conceito de EUA, pois o termo é muitas vezes utilizado para analisar o desempenho da planta (quando se considera a razão entre a assimilação e as taxas de transpiração), bem como, em alguns casos, utilizado como sinônimo de eficiência da aplicação de água (EA) ou eficiência dos sistemas de irrigação (PEREIRA; OEWIS; ZAIRI, 2002). Desta forma, estes autores sugerem a utilização do termo produtividade da água para análise do desempenho da cultura.

Sob condições de escassez de recurso hídrico, a água disponível deve ser usada mais eficientemente na produção agrícola. Nos sistemas de produção agrícola, a produtividade da água é usada para definir a relação entre produção comercial das culturas e a quantidade de água consumida nesta produção, e tem servido como um indicador para quantificar o impacto dos calendários de irrigação com relação ao manejo da água. Dessa forma, a produção total de biomassa (matéria seca) é transformada em produção comercial da cultura (VAZIFEDOUST *et al.*, 2008; GEERTS; RAES, 2009; PERRY *et al.*, 2009).

O conhecimento da quantidade de água requerida por uma cultura é de suma importância na agricultura irrigada para que se torne possível um adequado manejo de irrigação. Temperaturas mais elevadas junto com um baixo índice pluviométrico causam maiores demanda para evapotranspiração das plantas, com tendência de ocasionar aumento na demanda de água para irrigação (GONDIM *et al.*, 2008).

O momento de aplicação de água depende da fase de crescimento e das condições meteorológicas. Por outro lado, para a maximização da lucratividade dos sistemas de produção irrigados, a quantidade de água a ser aplicada deve estar relacionada também ao requerimento hídrico e ao manejo da cultura (SILVA *et al.*, 2012). Conhecer a relação da planta com a água é imprescindível para um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, conseqüentemente de uma melhor produtividade dos cultivos.

A quantidade de água a ser aplicada é normalmente estimada pela necessidade hídrica da cultura, podendo ser através da sua evapotranspiração e/ou, por meio do balanço de água no solo. Assim como a aplicação de água atende às necessidades hídricas da planta, o uso de fertilizantes como correção do solo é prática indispensável para atender as exigências nutricionais das culturas, pelo qual garante o potencial produtivo e a manutenção da fertilidade do solo.

Sistemas de preparo do solo, emprego da irrigação e uso da rotação de culturas, estão entre as técnicas de plantio que incrementam o rendimento agrícola. Com o cultivo excessivo ou repetido durante anos, há redução na macroporosidade e na infiltração de água, com reflexo no rendimento das culturas (CENTURION; DEMATTÊ, 1985).

Para escolha do método adequado de irrigação, alguns aspectos devem ser considerados, como a disponibilidade e qualidade da água, energia e mão-de-obra despendida, a topografia e o tipo de solo, o custo de implantação, o clima e a cultura.

Nesse sentido, a produtividade da água é um ótimo indicador para a análise e tomada de decisão, pois permite avaliar a variação da razão entre a produção e a quantidade de

água utilizada, sugerindo valores que maximizem sua utilização. Dinar (1993) menciona que existem meios para se elevar os valores da PA destacando-se, entre esses, o manejo adequado de irrigação.

Muitas formas de conservação de água têm sido investigadas na agricultura irrigada. Em geral todos os métodos possuem algumas condições que limitam o seu uso, mas, geralmente o método que usa a água de forma mais eficiente é a irrigação localizada. A irrigação com déficit e irrigação por gotejamento têm mostrado que a produtividade da água pode ser aumentada (GEERTS; RAES, 2009; ALI *et al.*, 2007; JALOTA *et al.* 2006). Diante dos conflitos entre os diferentes usuários, da preocupação ambiental e da cobrança pelo uso da água, existe a tendência de que este método de irrigação continue ampliando sua participação no cenário nacional.

Em estudo realizado por Lima (2009) na região sul da Espanha, obteve índices altos de eficiência do uso da água nas áreas do Projeto de Irrigação Genil-Cabra (PIGC), mas somente por se tratar de irrigação deficitária, e não porque o irrigante adotava uma irrigação tecnicamente correta. O irrigante dessa região não aceitava as recomendações técnicas do Sistema de Assessoramento ao Irrigante - SAR, embora tivesse bastante esclarecimento sobre a importância do uso da água e dos insumos produtivos, além das práticas ambientalmente corretas na agricultura.

A complexidade envolvida em fazer previsões simples de economia de água (escala de campo) e aumento do rendimento é apresentada por Burt e O'Neill (2007) em um estudo em grande escala feito na Califórnia, pelo Centro de Pesquisa e Treinamento em Irrigação (ITRC) em um ambiente moderno, com medição de vazão excelente, flexibilidade de entrega de água e disponibilidade de suporte técnico. O estudo avaliou a água aplicada e os rendimentos de tomate industrial em 187 campos irrigados por sulcos e 164 campos irrigados por gotejamento, com áreas típicas de 50 ha. Com base nos resultados da pesquisa de comparação entre os rendimentos e as lâminas de água aplicadas entre os dois métodos de irrigação, em geral não foi possível atribuir maiores benefícios imediatos quando a irrigação por gotejamento foi utilizada. Notou-se também, que a medida de uso da água nesta pesquisa foi água aplicada, como preferido por Cooley *et al* (2008), e não água consumida, pois o primeiro termo normalmente mostra com mais clareza a melhoria na tecnologia de irrigação.

Embora os grandes benefícios advindos do uso da irrigação sejam incontestáveis, é preciso ter em mente que os projetos de irrigação podem causar impactos adversos ao meio ambiente, à qualidade do solo e da água, à saúde pública e ao aspecto socioeconômico da

região. A solução para os conflitos pela água é uma gestão integrada e compartilhada de seu uso, controle e conservação. Essa gestão deve ser realizada holisticamente, de forma multidisciplinar e interdisciplinar.

Quando a disponibilidade de água para irrigação é restrita, o custo de oportunidade da água constitui o fator mais importante no manejo da irrigação. Sendo este o caso, a redução na quantidade de água aplicada deverá ser a estratégia racional de manejo da irrigação e a água economizada pela irrigação deve ser usada para irrigar uma área adicional, aumentando a receita líquida da propriedade agrícola (FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

## **2.5 Recursos Hídricos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste**

Os recursos hídricos existentes no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste compõem-se de águas superficiais (açudes e rios perenizados) e de águas subterrâneas (poços tubulares e poços profundos).

### **2.5.1 Águas Superficiais**

O Perímetro Irrigado Curu Pentecoste está situado na região abastecida pela bacia hidrográfica do Curu, cujo cenário dos últimos anos se encaminhou para um colapso total de seu abastecimento hídrico. O perímetro irrigado é abastecido pelos dois principais reservatórios da bacia hidrográfica, o açude Pereira de Miranda com capacidade de armazenamento de 395 milhões de m<sup>3</sup> e o açude General Sampaio com capacidade de 322 milhões de m<sup>3</sup>. Segundo a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (Cogerh, 2015), os percentuais de armazenamento mais críticos apresentados no ano de 2015 para os dois reservatórios foram observados no mês de março com aproximadamente 0,96% (3,45 milhões de m<sup>3</sup>) e 2,52% (8,11 milhões de m<sup>3</sup>) de suas capacidades de armazenamento, respectivamente.

Os efeitos dos baixos volumes em rios e reservatórios a partir do ano de 2013 atingiram pelo menos cinco perímetros irrigados do Ceará. No Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, produtores e empresas agrícolas começaram a trabalhar com diminuição do uso da água vinda dos açudes a partir do mês de agosto de 2013. Já no início do ano de 2014, a água para abastecimento do perímetro irrigado foi suspensa definitivamente devido aos níveis de

armazenamento alarmantes registrados nos açudes que realizam seu abastecimento (SILVEIRA, 2014).

Diante do exposto, os agricultores para não perderem seus plantios buscaram soluções imediatistas, realizando captação da água em trechos do Rio Curu, aduzindo esta água diretamente do rio através de bombas hidráulicas e irrigando seus cultivos, através de sistema de irrigação por sulcos.

A infraestrutura de uso comum para abastecimento do perímetro irrigado foi projetada e construída para utilização do método de irrigação por superfície, o qual tem ocasionado em nível de parcela irrigada, um grande desperdício de água, sobretudo pela ausência de assistência técnica continuada aos agricultores irrigantes.

A rede de drenagem é constituída de drenos a céu aberto, tendo como coletores principais (rios Curu e Canindé), alcançando riachos e córregos afluentes, localizados ao longo do perímetro irrigado. Os drenos coletores não recebem manutenção adequada por parte do Distrito de Irrigação, entidade responsável pela infraestrutura de uso comum do perímetro, proporcionando e intensificando um grave processo de salinização de grandes áreas irrigadas ao longo do perímetro irrigado.

Neste contexto, o reúso de água do excesso da irrigação por superfície surge como uma alternativa de conservação do recurso hídrico no âmbito do perímetro irrigado, além de permitir a manutenção dos drenos coletores, possibilitando o rebaixamento da carga hidráulica, minimizando os fluxos de recarga para as áreas irrigadas e, portanto, de problemas associados à salinidade dos solos. Esta forma de racionalização do recurso hídrico seria viável apenas em condições normais de abastecimento de água por parte do perímetro irrigado.

Ainda na perspectiva da gestão integrada dos recursos hídricos, a utilização correta da irrigação exige o manejo adequado de outros fatores intimamente relacionados com a produtividade, como o manejo conservacionista dos solos, o uso racional de fertilizantes e de agrotóxicos, em outras palavras, o emprego de tecnologias de produção compatíveis com o uso eficiente da água.

#### *2.5.1.1 Reúso do excesso da água de irrigação por superfície*

Segundo Lavrador Filho (1987 *apud* Brega Filho; Mancuso, 2003), reúso de água é o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em alguma atividade humana, para suprir as necessidades de outros usos benéficos, inclusive o original.

O reúso de água pode ser classificado como direto e indireto. Ele é considerado direto quando os efluentes, após devidamente tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reúso, que pode ser interno (reciclagem) ou externo ao local onde foram produzidos. São exemplos de reúso direto: irrigação, dessedentação de animais, aquicultura, usos industrial e urbano, uso em edificações. O reúso indireto pode ser feito de forma planejada ou não. Diz-se que o reúso indireto é planejado quando os efluentes, depois de convenientemente tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de água superficiais ou subterrâneos, sendo utilizados à jusante de forma diluída e de maneira controlada, em algum uso benéfico. O reúso indireto não planejado ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes em alguma atividade humana, é descartada no meio ambiente e novamente utilizada, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada (BREGA FILHO; MANCUSO, 2003).

As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e água salobras, devem, sempre que possível, serem consideradas como fontes alternativas para usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes se constitui hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência de uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água (HESPANHOL, 2002).

Na irrigação por superfície, a água deve ser aplicada ao solo em tempo suficiente para assegurar uma irrigação adequada. No entanto, o que se observa na maioria dos projetos públicos de irrigação são produtores sem instruções de como proceder a um manejo mais eficiente desse método de irrigação, gerando grande desperdício de água em nível de área irrigada. Segundo o Conselho para Ciência e Tecnologia na Agricultura de Iowa (1989), esse excesso de água escoado na superfície proveniente da irrigação por superfície pode ser captado e reconduzido para o mesmo campo através de um sistema de reutilização da sobra de água. Por outro lado, a água recuperada pode ser a fonte para uma irrigação mais abaixo do terreno ou para outros usuários da água.

Por se tratar de reúso de água de drenagem superficial, proveniente do excesso da água escoada em sulcos, geralmente não apresentam qualidade inferior como na drenagem subterrânea, onde a água percorre todo o perfil do solo carreando cátions e ânions ao longo desse percurso.

A água de reúso, utilizada para diversos fins, assim como a utilizada do excesso da irrigação por superfície, tende a apresentar preço mais baixo, reduzindo assim os custos de



produção. Na medida em que a cobrança pelo uso da água tornar-se mais abrangente, instrumento de gestão já considerado na Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997), o mercado de água de reúso também tenderá a crescer, além de ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil.

A água de drenagem pode ser usada na irrigação para duas finalidades: reduzir o volume de água de drenagem e para alcançar um maior retorno econômico de uma cultura. O objetivo é o de utilizar a água de drenagem para aumentar a rentabilidade da agricultura e, ao mesmo tempo, para reduzir o volume de água de drenagem que deve ser eliminado por outros meios.

Os resultados de vários estudos pelo mundo (Grattan *et al.*, 1987; Rains *et al.*, 1987; Rhoades *et al.*, 1989; Sharma *et al.*, 1995) têm indicado um potencial para a reutilização da água de drenagem para a produção agrícola, mas outras várias pesquisas serão necessárias para torná-la amplamente aplicável às práticas de produção comercial. Várias estratégias têm sido propostas para utilização dessa água para irrigação (BOUMANS *et al.*, 1988; SHARMA *et al.*, 1991). No entanto, a seleção de uma determinada estratégia irá depender de alguns fatores como a qualidade das águas de drenagem, tipo de solo, as culturas a serem irrigadas e as condições climáticas da região.

Urge a necessidade da busca de alternativas que proporcione o aumento da oferta de água e a definição de alocação desses recursos. Embora o Brasil já esteja realizando a prática de reúso agrícola em alguns estados, principalmente no Estado de São Paulo, com reúso de efluentes domésticos, não existe nenhuma legislação específica tratando da temática. Porém, com base em experiências nacionais e internacionais, percebe-se que há uma tendência de fortalecimento e expansão do reúso no Brasil, para fins diversos, especialmente para a irrigação, cabendo ao setor público regulamentar e fiscalizar sua utilização em todo o território nacional.

### **2.5.2 Águas subterrâneas**

As águas subterrâneas são naturalmente protegidas de agentes poluidores e da evaporação. Entretanto, a potencialidade de águas subterrâneas do Nordeste, à exceção do Estado do Piauí, é bastante limitada devido à predominância de embasamento cristalino. Os poços perfurados no cristalino nordestino, para aproveitar água de suas fraturas, apresentam, em geral, vazões limitadas, muitas vezes inferiores a  $2,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Várias têm sido

as ações do Estado com vista à perfuração de poços no cristalino, a maioria delas equivocada, face não apenas à limitada vazão segura de exploração, mas também à qualidade inferior de tais águas.

Dada à falta de fiscalização das atividades de perfuração e uso de poços, estima-se que no Nordeste existem aproximadamente 50 mil poços, sendo que pouco mais de 20 mil estão em operação por razões técnicas e/ou políticas (REBOUÇAS, 1997). O Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2000) cadastrou no Estado do Ceará, entre aquíferos aluvionais, sedimentares e fissurais, 13.394 poços. Desses, 6.001 (50,1%) são públicos e 5.887 (49,15%) são privados, sendo 316 poços (2%) provenientes de fontes naturais, 1.093 (8%) são amazonas e 11.888 são tubulares (92%). Para fins de uso, apresentam o seguinte funcionamento: 1.650 (12,6%) estão ativados; 2.339 (17,9%) desativados; 1.469 (11,3%) não estão instalados; e os restantes 7.781 (58,14%) servem para usos de irrigação, dessedentação animal, abastecimento público e de fazendas.

Os pequenos aquíferos aluviais são recursos hídricos particularmente importantes nas áreas semiáridas de embasamento cristalino. Segundo Burte (2008), em condições de recursos superficiais sujeitos a alta evaporação e ausência de recursos subterrâneos profundos, os aquíferos aluviais são pequenos oásis que podem ter um papel importante no desenvolvimento socioeconômico das regiões semiáridas. Neste contexto, os lençóis aluviais merecem uma atenção especial com relação ao seu potencial para o desenvolvimento rural, devido sua evaporação limitada, além de sua proximidade de terras aluviais férteis.

#### *2.5.2.1 Poços Rasos Tubulares*

Uma alternativa bastante utilizada para usos em escala local e de caráter familiar, diz respeito aos poços rasos tubulares, perfurados nos vales aluviais dos rios e riachos intermitentes. Conforme levantamento feito por Suassuna e Audry (1995), as águas subterrâneas dos aquíferos aluviais também apresentam, muitas vezes, salinidade e sodicidade elevadas; entretanto, os aquíferos aluviais apresentam mecanismos de renovação e diluições relativamente rápidos, quando comparados aos aquíferos fraturados de cristalino, a depender da sazonalidade das precipitações pluviométricas.

Em vales aluviais, os poços têm desempenhado importante suporte à irrigação de pequena escala de base familiar e para dessedentação animal. Montenegro *et al.* (2003) descrevem a dinâmica de recarga subterrânea em vale aluvial na Bacia do Rio Ipanema, em

Pernambuco, e a sazonalidade de suas águas, apontando para seu potencial hídrico. Deve-se mencionar, porém, a elevada variabilidade espacial de textura do solo, salinidade e condutividade hidráulica dos vales aluviais, conforme mencionado por Montenegro e Montenegro (2006), requerendo levantamento, mapeamento e monitoramento de suas características químicas que indiquem locais e épocas mais propícias para a exploração de suas águas. Outro aspecto relevante é a vulnerabilidade de tais vales a ações antrópicas, associadas à prática agrícola, conforme salientado por Burte *et al.* (2005), para os vales aluviais no Ceará.

Nas áreas semiáridas ou áridas na África (Sudão e Sael), a exploração dos aquíferos aluviais pela agricultura familiar (pequenas hortas e culturas múltiplas irrigadas a partir de pequenos poços) é antiga e permite suprir a alimentação das famílias mesmo durante os períodos de seca, representando muitas vezes a principal atividade econômica (LAVIGNE DELVILLE, 1998).

O Governo do Estado do Ceará, em 2001, concebeu o projeto de construção de 5.000 mil poços rasos tubulares para aproveitamento dos aquíferos dos rios temporários, como uma forma de incentivar a agricultura irrigada em serviço do pequeno agricultor. O objetivo principal do projeto “Caminhos de Israel – Poços no Sertão” era melhorar as condições de vida dos pequenos empreendedores rurais, criando condições para a oferta de água, de forma descentralizada e a baixo custo, a fim de difundir e implementar o negócio da agricultura irrigada, proporcionando estabilidade econômica e social nas pequenas propriedades, mesmo em anos de seca.

O projeto foi operacionalizado com parceria entre os Governos Federal, Estadual e Municipal, onde o Estado sugeria dois aluviões a serem implantados em cada Município, e o Município por sua vez fazia a validação desses aluviões com melhores acessos, energia instalada e disponibilidade com vistas a construção dos poços e implantação dos projetos de irrigação.

No Perímetro Irrigado Curu Pentecoste foram instalados poços rasos tubulares nos aluviões, apresentando profundidades médias de 10,0 m, com qualidade de água não restritiva ao cultivo sob irrigação localizada. Embora o objetivo de sua construção tenha sido de disponibilizar uma fonte alternativa de água na perspectiva da sustentabilidade e segurança hídrica dos agricultores familiares, a maioria dos poços instalados estão sem ser utilizados por parte dos irrigantes beneficiados com sua instalação. Segundo Silveira (2014), em levantamento recente realizado no perímetro irrigado, cerca de 88% destes poços estão em

desuso, por falta de energia elétrica ou mesmo por falta de incentivo por parte dos agricultores da região em utilizá-los.

Suassuna e Audry (1995) realizaram ampla caracterização das águas dos poços no Nordeste brasileiro e verificaram a predominância de águas apresentando problemas de salinidade e sodicidade. Recentemente, Cruz, Resende e Amorim (2010), investigando a qualidade das águas subterrâneas no Estado de Sergipe para suporte à expansão desejável da agricultura familiar, constataram que 75% das águas apresentam elevada salinidade, limitando seu uso. Exceção ocorre nas formações sedimentares, onde as águas normalmente são de melhor qualidade e pode extrair maiores vazões, da ordem de dezenas a centenas de  $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ , de forma contínua (CIRILO 2008).

Esses poços apresentam papel importante principalmente durante as estiagens para o aproveitamento prioritário humano, dessedentação de animais e outros. As demandas para tal fim devem ser garantidas em qualquer cenário, conservando e distribuindo equilibradamente aportes desse recurso vital em quantidades e qualidades mínimas, em consonância com as coleções hídricas superficiais em planos de gerenciamento de bacias hidrográficas. Os estudos de poços aluvionais exigem ainda um maior aprofundamento e estão associados à investigação da qualidade junto aos cursos d'água (QUESADO JR., CORDEIRO, TEIXEIRA, 2004).

## **2.6 Qualidade da água para irrigação**

A importância da qualidade da água está bem conceituada na Lei nº 9.433 sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, que define, dentre seus objetivos, “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

A Política Nacional de Recursos Hídricos também determina, como uma das diretrizes de ação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, “a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade e a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental”.

Apesar de sua importância, a gestão da qualidade da água no país não tem historicamente merecido o mesmo destaque dado à gestão da quantidade de água, quer no aspecto legal, quer nos arranjos institucionais em funcionamento no setor, quer no planejamento e na operacionalização dos sistemas de gestão (PORTO, 2002).

A informação sobre a qualidade da água no país ainda é insuficiente ou inexistente. Em termos gerais, considerando-se as redes estaduais e a Rede Hidrometeorológica Nacional, observa-se que apenas a região Sudeste possui uma condição adequada de monitoramento da qualidade da água. As demais regiões apresentam-se bastante inferiores nesse quesito, com destaque para as regiões Norte e Nordeste. Essas limitações no monitoramento dificultam o diagnóstico detalhado da qualidade dos corpos d'água do país.

A expansão da agricultura irrigada se torna uma questão preocupante, devido ao elevado consumo de água e ao comprometimento da qualidade em decorrência do deflúvio superficial. No entanto, segundo Paz, Teodoro e Medonça (2000) apesar do grande consumo de água, a irrigação representa a maneira mais eficiente de aumento da produção e concordam que haverá um consumo de água maior no ano de 2020 para atender à produção agrícola.

A degradação dos mananciais, proveniente das atividades agrícolas ocorre, principalmente, devido ao escoamento superficial que poderá carrear nutrientes para os cursos d'água. Desta forma, o rio é um integralizador dos fenômenos ocorrentes nas vertentes da bacia, sendo que essas alterações podem ser avaliadas pelos parâmetros da qualidade da água (MERTEN e MINELLA, 2002). Assim, a irrigação é uma atividade com alto potencial degradador, contribuindo para a contaminação dos mananciais, deteriorando a qualidade da água, devido ao aumento dos nutrientes, agroquímicos e metais pesados (SANTOS, 2006).

O conteúdo de sais na água empregada na irrigação tem grande variabilidade, dependendo do manancial em que é coletada e da formação geológica onde o mesmo está encravado, além de outros fatores ambientais que afetam diretamente os mananciais superficiais e, indiretamente, os aquíferos subsuperficiais (DAVIES; DEWIEST, 1966). A qualidade da água para irrigação é avaliada não apenas pelo seu conteúdo total de sais mas, também, pela composição individual dos íons presentes. Alguns cátions e ânions, quando em excesso, podem trazer prejuízos ao solo (pelo efeito direto na sodificação) e às plantas cultivadas, dependendo do grau de tolerância destas aos sais (AYERS; WESTCOT, 1991, RICHARDS, 1995, ZONN, 1986).

Os íons predominantemente encontrados nas águas de irrigação são:  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , e  $\text{Cl}^-$ . A proporção relativa desses íons é muito importante, no que diz respeito a seu uso na água de irrigação, pois dependendo da textura, estrutura e permeabilidade do solo, determinada água poderá ser utilizada ou não (LYERLY; LONGENECKER, 1962).

As análises de rotina efetuadas em laboratórios de água, determinações de pH e condutividade elétrica (CE), fornecem subsídios para se avaliar a possibilidade de precipitação

de sais e a indução da salinidade em função da prática da irrigação. O cálculo da razão de adsorção de sódio (RAS) assume papel preponderante, posto que a combinação CE e RAS sirva para avaliar os perigos que a água oferece, respectivamente, em termos de indução de salinidade e aumento nos teores de sódio na solução do solo.

Os parâmetros da qualidade da água podem refletir as características de ocupação da bacia, por atividades agrícolas, industriais, urbanas, dentre outras. Em sistemas agrícolas as perdas de nutrientes pela erosão hídrica apresentam características diferentes, devido ao tipo de cultura, aos fertilizantes que são aplicados, à época do ano que ocorre o preparo do solo e à colheita. Ressalta-se, ainda, que esta contribuição pela erosão hídrica pode ser intensificada nas épocas de chuvas (CETESB, 2005).

Estudos efetuados nos países baixos (Estônia, Letônia e Lituânia) mostraram que, apesar de reduzirem a aplicação de fertilizantes nas culturas, os cursos d'água de quatro bacias hidrográficas agrícolas não apresentaram redução significativa da concentração dos parâmetros avaliados, evidenciando que outras variáveis interferem no carreamento de nutrientes para os mananciais (KOKORITE *et al.*, 2003).

Em estudo realizado por Brito *et al.* (2005), ao avaliar a qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Salitre, ocupada por agricultura, localizada na Bahia, observaram valores elevados de pH e de condutividade elétrica. No entanto, Queiroz *et al.* (2010), ao avaliar a influência do uso e ocupação do solo por agricultura na qualidade da água na microbacia da Sanga Mandarina, encontrou uma boa qualidade em relação aos parâmetros condutividade elétrica, pH e temperatura da água. Lucas (2007) também verificou que a agricultura irrigada causa baixo impacto na microbacia do ribeirão Marins em São Paulo.

A avaliação dos impactos ambientais da agricultura irrigada é essencial para promover o entendimento dos processos de degradação dos recursos naturais, bem como no delineamento de medidas corretivas que permitam auferir, ao máximo, benefícios sociais com o mínimo de danos ambientais (RODRIGUES; IRIAS, 2004).

## **2.7 Avaliação econômica de áreas irrigadas**

Nas regiões áridas e semiáridas, a limitação da água deve ser particularmente considerada no planejamento da irrigação, uma vez que é necessária a otimização dos recursos hídricos disponíveis visando a maximização da receita líquida por unidade de volume de água aplicada (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2001). Segundo Zanatta *et al.* (1993), a análise

econômica tem como objetivo auxiliar os agricultores na tomada de decisão, sobretudo no que se refere ao que plantar e como plantar.

Na atividade produtiva, a escolha do método ou processo de produção depende da sua eficiência. Esta pode ser classificada como eficiência técnica ou tecnológica, quando comparado com outros métodos, se utiliza de menor quantidade de insumos para produzir uma quantidade equivalente do produto. Outro tipo de classificação é a eficiência econômica que está associada ao método de produção mais barato (isto é, os custos de produção são menores) relativamente a outros métodos (VASCONCELOS; GARCIA, 2004).

Os projetos de irrigação necessitam ser cuidadosamente avaliados economicamente na medida em que exigem investimentos significativos e intensiva utilização de insumos, que devem ser remunerados pelo incremento de rendimento proporcionado pela irrigação (MARQUES, 2005). Além disso, a água, seu principal insumo, é um bem quase sempre escasso e pode representar um fator limitante nos sistemas agrícolas (FRIZZONE, 2005).

A agricultura irrigada exige alto investimento em obras e aquisição de equipamentos, transporte, controle e distribuição de água; além de gastos com energia e mão-de-obra para a operação do sistema, que representam importantes custos adicionais (CLARK *et al.*, 1993, *apud* LIMA, 2009).

O custo de produção é a soma dos valores de todos os recursos (insumos) e operações (serviços) utilizados no processo produtivo de determinada atividade (BONACCINI, 2000). Sendo uma excepcional ferramenta de controle e gerenciamento das atividades produtivas e de geração de importantes informações para subsidiar as tomadas de decisões pelos produtores rurais e, também, de formulação de estratégias pelo setor público. Para administrar com eficiência uma unidade produtiva agrícola, é imprescindível, dentre outras variáveis, o domínio da tecnologia e do conhecimento dos resultados dos custos com os insumos e serviços em cada fase produtiva da cultura, que tem no custo um indicador importante das escolhas do produtor.

De acordo com Gitman (2001), em qualquer projeto de investimento se faz necessária uma abordagem de viabilidade econômico-financeira. Para isso, é importante o entendimento dos fluxos de caixa no tempo, ou seja, o valor do dinheiro no tempo, que é baseado na ideia de que uma unidade monetária hoje vale mais do que outra que será recebida em uma data futura. Isso explica porque se deseja receber o quanto antes e pagar o mais tarde possível uma determinada quantia que não será reajustada ao longo do tempo.

Um dos indicadores mais utilizados em análises econômicas é a relação benefício/custo (B/C). Conforme Hoffmann *et al.* (1992) é definido como o quociente entre o valor presente das receitas (benefícios) a serem obtidos e o valor presente dos custos (inclusive os investimentos). O critério de decisão é que o investimento será considerado viável se a relação  $B/C > 1$ .

Para se avaliar os fluxos de caixa relevantes, podem-se utilizar várias técnicas, entre as quais se destaca o Valor Presente Líquido (VPL). Assim, o projeto será aceito caso o VPL for positivo, considerando determinada taxa de juros, e será rejeitado se o VPL for negativo.

Outra técnica bastante utilizada é a Taxa Interna de Retorno (TIR). A TIR representa segundo Ferreira (2005), a taxa de desconto que é igual ao valor presente dos fluxos de caixa futuros ao investimento inicial de um determinado projeto. Ela é calculada igualando a equação do VPL à zero. Além da riqueza gerada pelo projeto, outro aspecto importante no momento de sua análise é o tempo que demora a recuperar o capital investido. Segundo Motta e Calôba (2002), de forma geral, quanto mais alongado o prazo de retorno do investimento, ou payback, menos interessante ele se torna para o investidor.

O sucesso da implantação de sistemas intensivos de produção exige não apenas conhecimento técnico da atividade como também controle operacional e gerencial. Para Guimarães (2003), as tecnologias ou sistemas de manejo empregados devem sempre passar por um teste econômico para verificar se os custos de produção são compensadores. Para Lopes e Carvalho (2002), a análise da atividade mediante o custo de produção e de indicadores de eficiência econômica é um forte subsídio para a tomada de decisões em uma empresa rural.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

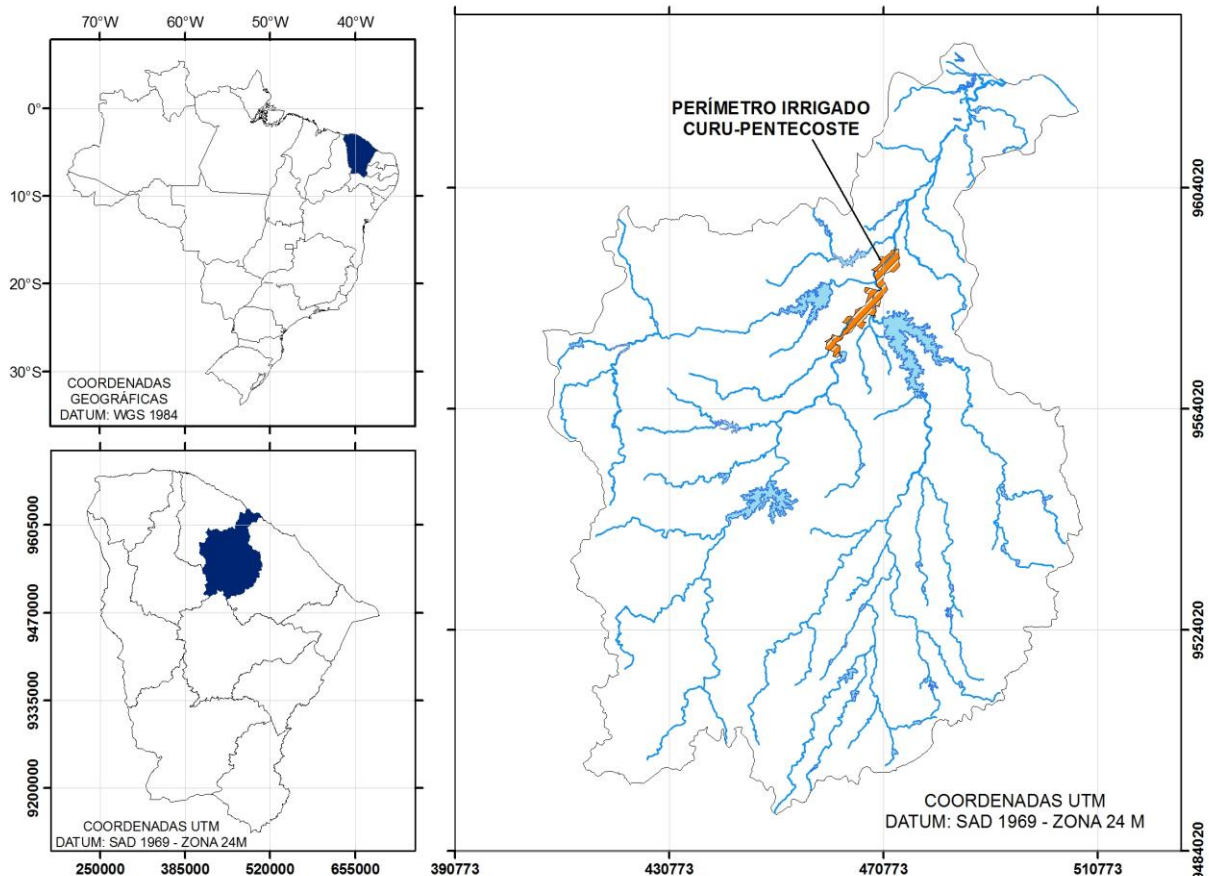
#### 3.1 Descrição da área de estudo

##### 3.1.1 Localização

A área definida como objeto deste estudo, o Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Curu, no Estado do Ceará, abrangendo o território dos municípios de Pentecoste e de São Luís do Curu, distando 80 km de Fortaleza, 160 km de Quixadá e 183 km de Sobral, considerados importantes centros consumidores.

O Perímetro Irrigado Curu Pentecoste está localizado entre os paralelos de 3°40'24"- 3°51'18" de latitude sul e meridianos 39°10'19"- 39°21'13" de longitude oeste, estendendo-se às margens do Rio Curu e seus afluentes Canindé e Caxitoré, ocupando uma área de aproximadamente 1068 ha com infraestrutura de irrigação para uso comum (FIGURA 3).

Figura 3 – Localização do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste na Bacia Hidrográfica do Curu



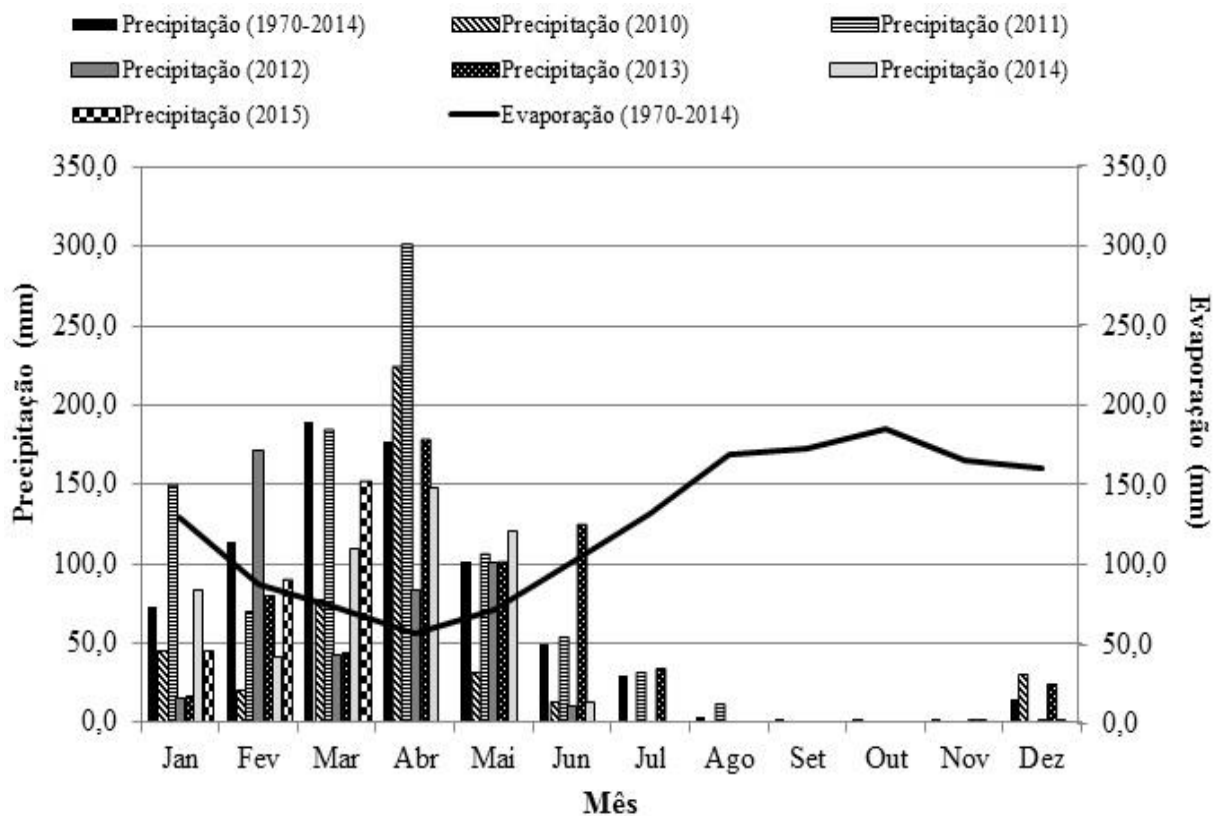
Fonte: Autor (2013).

### 3.1.2 Clima

Segundo a classificação de Koopen, o clima da região é do tipo BSw'h', com chuvas de outono, alcançando valores máximos nos meses de março e abril. O período seco se prolonga de julho a dezembro, ocorrendo menores precipitações nos meses de outubro e novembro (FIGURA 4). A temperatura média anual é de 27,1°C, com máxima de 28°C no período de setembro a janeiro e mínima de 26°C entre março e julho.

De acordo com os dados históricos pluviométricos (1970-2014) da estação agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu – FEVC/UFC para o município de Pentecoste, os valores de precipitação e evaporação média histórica foram de 760 e 1502,6 mm, respectivamente. Nos últimos anos, a precipitação ficou bem abaixo da média, sendo: 427,1 mm em 2012; 610,4 mm em 2013; 519,8 mm em 2014 e 288,7 mm até o mês de março de 2015, ou seja, 44, 20, 32 e 62% abaixo da média histórica, respectivamente.

Figura 4 – Precipitações mensais no Município de Pentecoste, anos 2010 a 2015, e média histórica de precipitação e evaporação de 1970-2014



Fonte: Estação agrometeorológica da FEVC/UFC.

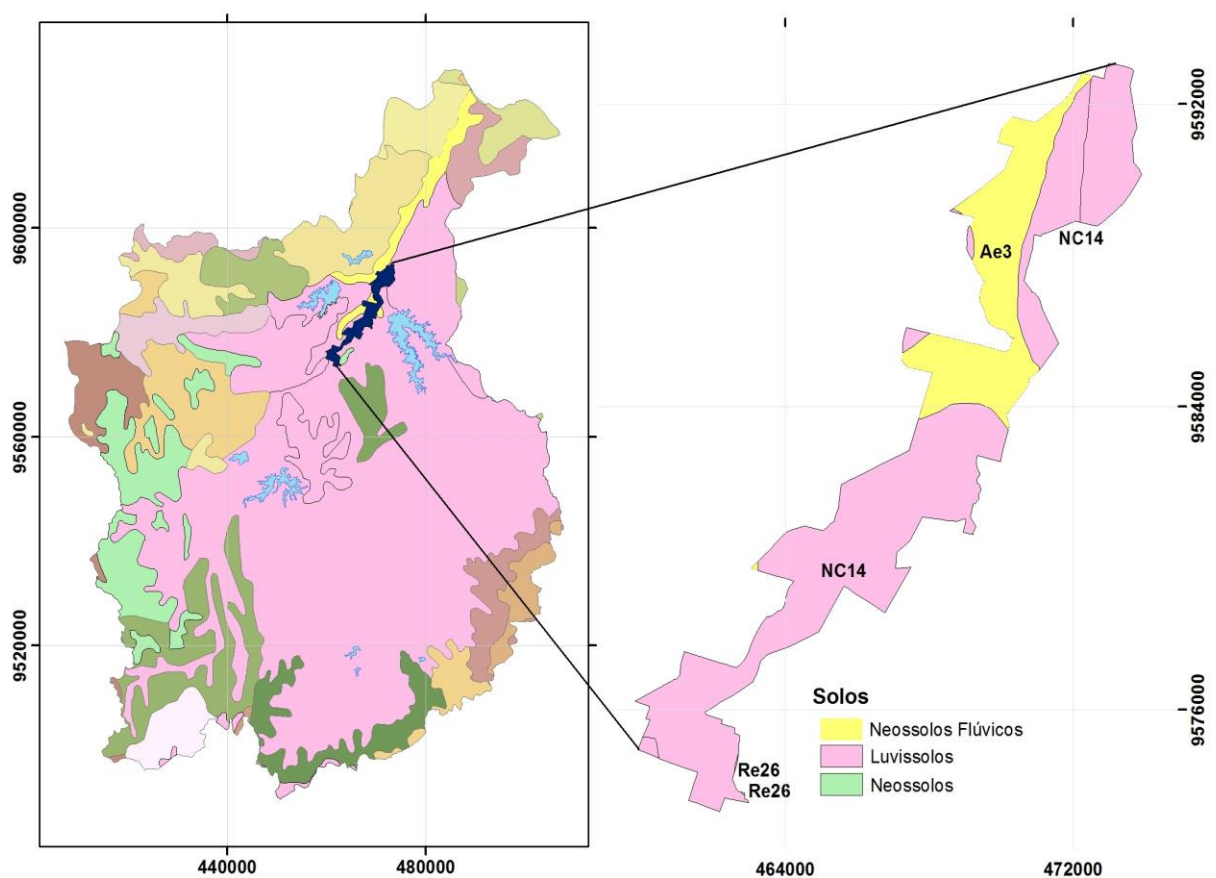
### 3.1.3 Relevo e tipos de solos

A área em estudo apresenta altitudes variando de 30 a 90 metros. O relevo é suavemente ondulado, com declividade mais íngreme no sentido dos talwegues principais da área. O fato de a área estar encravada em uma unidade geomorfológica denominada tabuleiro representa uma característica de regiões próximas ao litoral.

Na bacia do Curu são observadas as seguintes classificações de solos: Argissolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Regolíticos, Luvisolos, Planossolos e os Neossolos Flúvicos, margeando o rio Curu na parte baixa da bacia.

De acordo com o mapa base de Reconhecimento dos Solos do Ceará na escala de 1:600.000, que contém as classes de solo para todo o Estado de acordo com Jacomine (2009), identificaram-se três diferentes tipos de solo no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, com predominância dos Luvisolos e Neossolos Flúvicos (FIGURA 5).

Figura 5 – Mapa de solos da Bacia do Curu e do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

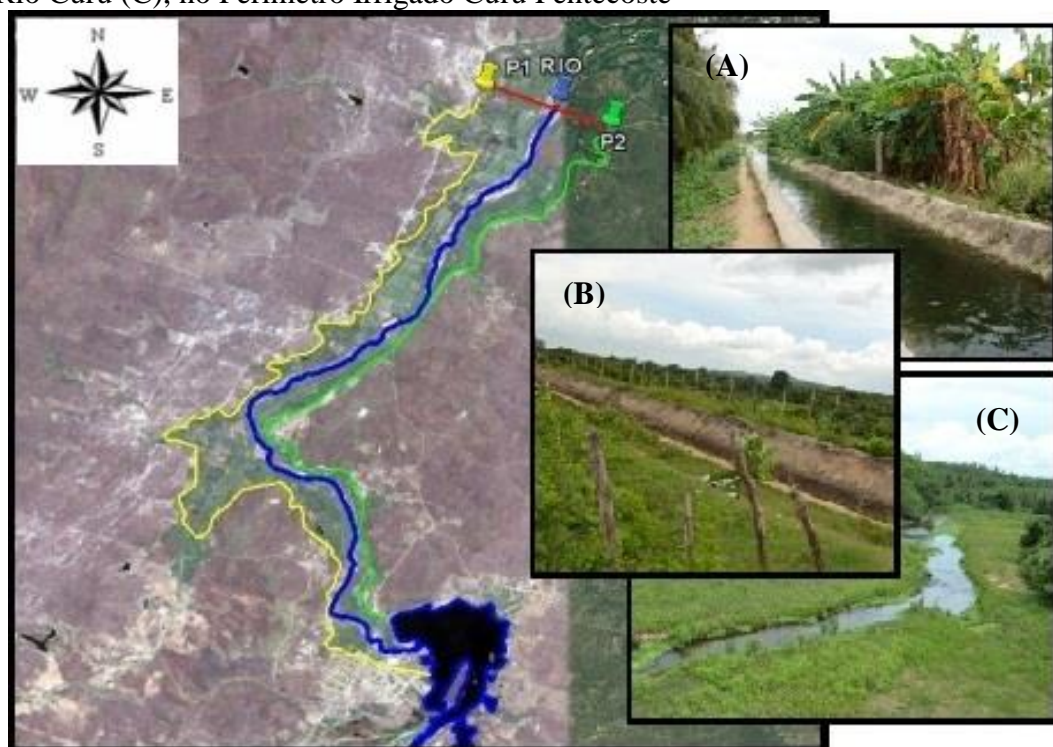


Fonte: Autor (2013).

### 3.1.4 Infraestrutura de Irrigação

A fonte de abastecimento hídrico do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste são os açudes públicos federais General Sampaio e Pereira de Miranda. O sistema General Sampaio abastece do núcleo A ao F, através dos canais P1 e P2 e o sistema Pereira de Miranda abastece os núcleos G, H e parte do setor F, através do canal PM. No presente estudo foram avaliadas apenas áreas que são abastecidas pelo açude público General Sampaio (FIGURA 6).

Figura 6 – Delimitação da área em estudo, abastecidas pelo canal P1 (A) e P2 (B), margeados pelo Rio Curu (C), no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Google Earth (2011); Autor (2013).

A água é conduzida dos canais principais (P1 e P2) aos canais secundários (Figura 5a e 5b), e destes às parcelas irrigadas através de canais terciários, onde são conduzidas as irrigações (FIGURA 7).

O sistema de irrigação parcelar efetua-se por gravidade através de sulcos. Capta-se a água dos canais terciários, sendo estes geralmente formados por canais em terra, cuja adução procede-se por sifões. As perdas por condução nesses canais terciários de terra, além das perdas em canais e acéguas de condução de água se situam em torno de 30 a 40% no âmbito do perímetro irrigado (SANTOS, 2008). Tais perdas dificultam a irrigação das parcelas

irrigadas de 4,0 ha em nível de agricultor, considerando a disponibilidade de água por dois dias semanais com turno de rega de oito dias.

Figura 7 – Canal secundário (A) e canal terciário com adução de água através de sifões (B) no Perímetro irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2013).

### 3.2 Planos de cultivo

As principais culturas estabelecidas atualmente no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste são o coqueiro anão (*Cocos nucifera L.*, var. Nana), para comercialização do coco verde destinado a consumo in natura e a industrialização da água, e a bananeira Pacovan (*Musa spp.*, var. Pacovan), para consumo in natura. Nos últimos quatro anos houve uma ampliação da área plantada de coqueiro e, conseqüentemente, diminuição da área plantada de bananeira, possivelmente devido ao avanço da degradação por sais (ALBUQUERQUE, 2015).

Segundo o Centro de Treinamento e Desenvolvimento (Cetrede, 2009), em torno de 98% das áreas cultivadas no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste são estabelecidas com as culturas do coqueiro e da bananeira. A bananeira, entretanto, vem perdendo espaço ao longo dos anos por proporcionar baixo rendimento, quando considerado o potencial de área implantado. Além disso, existem perdas na produção, principalmente na hora da colheita e na fase de pós-colheita, onde podem chegar a 40% do que é produzido da cultura no perímetro. A variedade da bananeira cultivada no perímetro é a Pacovan, constantemente atacada pela Sigatoka amarela, necessitando de uma renovação dos pomares.

A bananeira quando irrigada por superfície não tem apresentado crescimento considerável em área, principalmente, pelas elevadas dotações de água de irrigação e baixa eficiência de irrigação. Aliando esses fatores a seu cultivo em manchas de solo mais leves, como as encontradas no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, utilizando turno de rega que dura em média oito dias, a cultura acaba sofrendo sério déficit hídrico entre irrigações e ao longo de seu ciclo, apresentando queda considerável em sua produtividade.

Diante o exposto, os irrigantes buscam alternativas de planos de cultivo como estratégia de sobrevivência, pois não sendo dependente de apenas um tipo de cultura, haverá sempre algum produto para vender e manter a renda familiar, ou mesmo como subsistência, no caso do feijão e do milho. Além disso, a diversificação dos cultivos gera um preço melhor no que é produzido, em oposição ao monocultivo (LIMA, 2005). A introdução de novos cultivos como o mamoeiro e a abóbora aos poucos vem fazendo parte da produção do Perímetro Irrigado, embora com menor participação.

### **3.3 Unidades experimentais instaladas com o cultivo do mamoeiro**

Para a cultura do mamoeiro foram obtidos dados primários em duas unidades de experimentação, sendo uma irrigada por sulcos com água do canal e outra irrigada por microaspersão com água proveniente de reúso do excedente de áreas irrigadas por sulcos.

#### ***3.3.1 Unidade de experimentação com mamoeiro irrigado por sulcos com água do canal***

A unidade de experimentação com irrigação por sulcos foi instalada no setor A do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste com o objetivo de avaliar a produtividade do mamoeiro (*Carica papaya* L.), grupo Formosa, variedade ‘Tainung N°1’ para um ciclo de produção em função de diferentes tempos de reposição de água no final do sulco, utilizando água proveniente do canal de irrigação (FIGURA 8).

A fonte hídrica proveniente do canal de irrigação foi classificada como C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> (Tabela 1), não oferecendo risco de sodicidade (S<sub>1</sub>), segundo a classificação de Richards (1954).

Figura 8 – Unidade de experimentação com mamoeiro irrigado por sulcos (A) com água do canal (B)



Fonte: Autor (2011).

Tabela 1 – Atributos químicos da água do canal na unidade de experimentação com mamoeiro irrigado por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Cátions (mmolc L <sup>-1</sup> )					Ânions (mmolc L <sup>-1</sup> )					CE (dS.m <sup>-1</sup> )
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Σ	
2,3	2,1	4,8	0,2	9,4	5,4	0,8	2,6	-	8,8	0,81
RAS		pH			Classificação					
3,2		8,0			C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>					

Fonte: Laboratório de Solo/Água UFC (2011).

Para fins de análise da produtividade da água utilizou-se a maior produtividade do mamoeiro irrigado por sulcos com água do canal, correspondente a 42.697 kg ha<sup>-1</sup>, e uma aplicação de água de 6.396 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Essa produtividade da cultura foi obtida aplicando o tratamento que utilizou apenas o tempo de avanço da água no sulco.

### 3.3.2 Unidade de experimentação com mamoeiro irrigado por microaspersão com água de reúso do excesso da irrigação por sulcos

A unidade de experimentação foi instalada no setor B do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste com o objetivo de avaliar a produtividade do mamoeiro (*Carica papaya* L.), grupo Formosa, variedade ‘Tainung N°1’ para o primeiro ciclo de produção em função de diferentes

lâminas de água aplicadas de forma localizada, utilizando reúso do excedente de água proveniente da irrigação por sulcos (FIGURA 9).

A água proveniente de reúso do excesso da irrigação por sulcos que abastecia o sistema localizado que irrigava o cultivo do mamoeiro foi classificada como  $C_3S_1$ , não oferecendo risco de sodicidade ( $S_1$ ), segundo a classificação de Richards (1954) (TABELA 2).

Tabela 2 – Atributos físicos e químicos da água de reúso do excesso da irrigação por sulcos na unidade de experimentação com mamoeiro irrigado de forma localizada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Cátions (mmolc L <sup>-1</sup> )					Ânions (mmolc L <sup>-1</sup> )					CE (dS m <sup>-1</sup> )
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Σ	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Σ	
2,15	2,75	3,13	0,20	8,24	4,40	-	3,80	-	8,20	0,82
RAS			pH		Sólidos Dissolvidos (mg.L <sup>-1</sup> )					Classificação
2,00			7,3		820					C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>

Fonte: Laboratório de Solo/Água UFC (2011).

Para fins de análise da produtividade da água utilizou-se a maior produtividade do mamoeiro irrigado por microaspersão com água de reúso, correspondente a 57.940 kg ha<sup>-1</sup>, e uma aplicação de água de 5.413,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Essa produtividade da cultura foi obtida para o tratamento que aplicou 150% da evapotranspiração da cultura.

Figura 9 – Unidade de experimentação com mamoeiro irrigado de forma localizada (A) com água de reúso do excesso da irrigação por sulcos (B)



Fonte: Autor (2011).



### 3.4 Dados de produção do cultivo da abóbora no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Para a cultura da abóbora foram obtidos dados secundários de trabalhos realizados pelo Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água e Solo – Semiárido, GPEAS, em unidades de experimentação para cálculo da produtividade da água de irrigação. Duas localizadas no setor D, sendo uma com irrigação por sulcos com água do canal e outra com irrigação por gotejamento com água proveniente de poço raso. Outra unidade era localizada no setor C, onde a abóbora era irrigada por gotejamento com água proveniente do reúso do excedente de áreas irrigadas por superfície do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

#### 3.4.1 Dados de produção da abóbora irrigada por sulcos com água do canal e irrigada por gotejamento com água de poço raso tubular

No ano agrícola de 2010, Santos (2011) avaliou a cultura da abóbora (*Cucurbita moschata*), cultivar jacarezinho, no setor D do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste com o objetivo de avaliar a produtividade para um ciclo de produção em função de diferentes fontes hídricas e métodos de irrigação (FIGURA 10).

Figura 10 – Fontes de água para irrigação da abóbora: canal (A) e poço raso tubular (B)



Fonte: Santos (2011).

As fontes hídricas utilizadas, tanto no sistema de irrigação por sulcos com água do canal, quanto no sistema de irrigação localizada por gotejamento com água proveniente de poço raso tubular que irrigava o cultivo da abóbora foram classificadas como C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>. Segundo Vitti e Boaretto (1994), a salinidade limiar (SL) para a cultura da abóbora é 2,5 dS m<sup>-1</sup>, apresentando nível de salinidade média da zona radicular tolerável pela cultura.

Para fins de análise foram utilizadas as maiores produtividades obtidas por Santos (2011) para cada método de irrigação. A maior produtividade da abóbora obtida na irrigação por sulcos foi de 10.296,4 kg ha<sup>-1</sup>, equivalente à aplicação de 6645,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de água. Para o método de irrigação localizada utilizando água proveniente do poço raso tubular, a maior produtividade foi 25.365,0 kg ha<sup>-1</sup>, equivalente à aplicação de 976,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de água.

### 3.4.2 *Dados de produção da abóbora irrigada por sulcos com água do canal e irrigada por gotejamento com água de reúso do excesso da irrigação por sulcos*

No ano agrícola de 2010, Moreira (2010) avaliou a cultura da abóbora (*Cucurbita moschata*), cultivar jacarezinho, no setor C do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste com o objetivo de avaliar a produtividade para um ciclo de produção em função de diferentes lâminas de água, utilizando reúso do excesso da irrigação por superfície (FIGURA 11).

Figura 11 – Fonte de água para irrigação localizada da abóbora (A), utilizando reúso do excesso da irrigação por sulcos (B)



Fonte: Moreira (2010).

A água proveniente de reúso do excesso da irrigação por sulcos foi classificada como C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>, apresentando uma condutividade elétrica (CE) de 0,49 dS m<sup>-1</sup>.

Para fins de análise da produtividade da água utilizou-se a maior produtividade do cultivo da abóbora irrigada de forma localizada com água de reúso do excesso da irrigação por sulcos, correspondente a 17.549,3 kg ha<sup>-1</sup>, e uma aplicação de água de 938,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

### 3.5 Dados de produção do cultivo da bananeira no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Os dados da produção do cultivo da bananeira (*Musa spp.*) no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste foram obtidos através de dados secundários de trabalho realizado por Santos (2008) com a cultivar pacovan irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. Para fins de análise da produtividade da água do atual sistema de plantio adotado pela grande maioria dos agricultores familiares do perímetro utilizou-se a produtividade correspondente a 10.800,0 kg ha<sup>-1</sup>, cuja aplicação de água é de 11.316,0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, conforme prática de irrigação adotada no perímetro.

### 3.6 Produtividade da água

A produtividade da água de irrigação (PA<sub>IR</sub>) foi calculada pela relação entre a produtividade da cultura e o volume total de água de irrigação aplicado durante o ciclo da cultura, para o caso de cultivos anuais, ou do total de água aplicada em uma jornada anual de irrigação, quando a cultura em pleno desenvolvimento, conforme a seguinte equação:

$$PA_{IR} = \frac{Y_{C_{IR}}}{IR} \quad (1)$$

sendo:

PA<sub>IR</sub>: produtividade da água de irrigação, kg m<sup>-3</sup>;

Y<sub>C<sub>IR</sub></sub>: produtividade da cultura irrigada, kg ha<sup>-1</sup>;

IR: volume de água de irrigação por unidade de área, m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

No estudo calculou-se também a PA<sub>IR</sub> em termos monetários por unidade de volume de água aplicado (Eq. 2). Em regiões onde a precipitação é pouco significativa, ou

existe escassez de recurso hídrico para a agricultura, e não há restrição de terra, o objetivo do agricultor deverá ser maximizar a receita líquida por unidade de volume de água de irrigação.

$$PA_{IR} = \frac{P_P \cdot Y_{C_{IR}}}{IR} \quad (2)$$

sendo:

$PA_{IR}$ : produtividade da água de irrigação, R\$ m<sup>-3</sup>;

$P_P$ : preço de comercialização do produto, R\$ kg<sup>-1</sup>;

$Y_{C_{IR}}$ : produtividade da cultura irrigada, kg ha<sup>-1</sup>;

$IR$ : volume de água da irrigação por unidade de área, m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

### 3.7 Análise econômica

O coqueiro é a principal cultura do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste apresentando aproximadamente 50% da área cultivada por lote agrícola, não sendo de interesse dos agricultores familiares sua substituição. Não obstante, a cultura da bananeira irrigada por sulcos apresenta baixo nível de produtividade da água, tendo por parte da maioria dos agricultores, o interesse em substituí-la por cultivos mais rentáveis.

Desta forma realizou-se análise econômica em nível de parcela irrigada contemplando os cenários apresentados na Tabela 3, os quais podem se constituir em alternativas à substituição da bananeira irrigada por sulcos. A análise comparativa dos indicadores de rentabilidade da análise de investimento foi realizada para um horizonte de seis anos.

Tabela 3 – Cenários de planos de cultivo e métodos de irrigação como alternativa à substituição da bananeira irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

	Mamão		Abóbora	
	Área (ha)	Sistema de Irrigação	Área (ha)	Sistema de Irrigação
Cenário 01	1	Sulcos	-	-
Cenário 02	1	Localizada (Reúso)	-	-
Cenário 03	-	-	1	Sulcos
Cenário 04	-	-	1	Localizada (Reúso)*
Cenário 05	-	-	1	Localizada (Poço)*

\* Adicionando os cultivos do milho espiga (sequeiro) e do feijão de corda (irrigação).

Fonte: Autor (2015).

Para a área implantada com o cultivo da abóbora, por ser uma cultura anual, serão incorporados dois outros cultivos durante o ano, o milho espiga cultivado nos meses de fevereiro a abril e o feijão de corda nos meses de agosto a outubro, cultivos tradicionais no Perímetro Irrigado.

Nos cenários analisados, considerou-se que o agricultor obteve financiamento para investimento e custeio junto ao Banco do Nordeste, através da linha de financiamento do Pronaf Agricultor Familiar. As condições para o enquadramento são que os agricultores familiares explorem parcela de terra na condição de proprietários, posseiros, arrendatários ou parceiros e possuam renda bruta anual acima de R\$ 6.000,00 e inferior a R\$ 110.000,00, excluídos benefícios sociais e proventos previdenciários decorrentes de atividades rurais (PRONAF, 2011). As condições de amortização do financiamento contratado estabelecidas pelo Programa preconizam para os investimentos um prazo de até 10 anos, com carência de até três anos e taxas de juros que variam de 1% ao ano para valor contratado de até R\$ 10 mil e 2% ao ano de R\$ 10 mil a R\$ 50 mil (PRONAF, 2011).

Como benefícios financeiros foram consideradas as receitas provenientes da comercialização da produção no mercado local, com preços atualizados para um mesmo ano agrícola, sendo de R\$ 0,35 kg o preço do mamão, R\$ 0,50 kg da abóbora e R\$ 0,30 kg da banana.

Os custos fixos ou relativos ao investimento foram compostos pelo custo da instalação de um poço raso tubular, além do custo relativo à aquisição e instalação do sistema de irrigação localizada. Não foram considerados custos relativos ao valor da terra. Já os custos variáveis foram compostos pelos custos de produção das culturas, aí incluídos os custos com mão de obra, além dos custos da irrigação, estes compostos pela mão de obra e pagamento da tarifa de água  $K_2$ , quando se tratar de irrigação por sulcos, considerando que os sistemas localizados foram irrigados com água de poço raso e de reúso do excesso da água da irrigação por sulcos, não apresentando forma de cobrança por parte do Distrito de Irrigação.

A relação benefício/custo (B/C) representa a relação entre o valor presente das receitas obtidas e o valor presente dos custos (inclusive os investimentos). Assim, o projeto é economicamente viável se apresentar a razão  $B/C > 1$ . Quanto maior for essa relação mais indicado economicamente será o projeto. Para cálculo da relação B/C foi utilizada a seguinte equação:

$$B/C = \frac{\sum_{i=0}^n \left( \frac{R_i}{(1+r)^i} \right)}{\sum_{i=0}^n \left( \frac{C_i}{(1+r)^i} \right)} \quad (3)$$

sendo:

R<sub>i</sub> - Receita obtida no ano.

r - Taxa real anual de juros (decimal).

i - Número de anos para quitar o investimento ou vida útil dos equipamentos.

C<sub>i</sub> - Custos no ano.

O valor presente líquido (VPL), que consiste em transferir para o instante atual todas as variações de caixa esperada, descontá-las a uma determinada taxa de juros, e somá-las algebricamente, sendo representado pelo valor presente dos benefícios líquidos (benefícios – custos), conforme a equação:

$$VPL = \sum_{i=0}^n \left( \frac{R_i - C_i}{(1+r)^i} \right) = \sum_{i=0}^n \left( \frac{R_i}{(1+r)^i} \right) - \sum_{i=0}^n \left( \frac{C_i}{(1+r)^i} \right) \quad (4)$$

A taxa interna de retorno (TIR), que expressa à percentagem de rentabilidade anual média do capital alocado durante todo o horizonte de análise, sendo, portanto uma taxa que torna nula o VPL do fluxo de caixa de investimento, caracterizando, assim, a taxa de remuneração do capital investido. O VPL e a TIR têm como vantagem o fato de considerarem o efeito da dimensão tempo dos valores monetários.

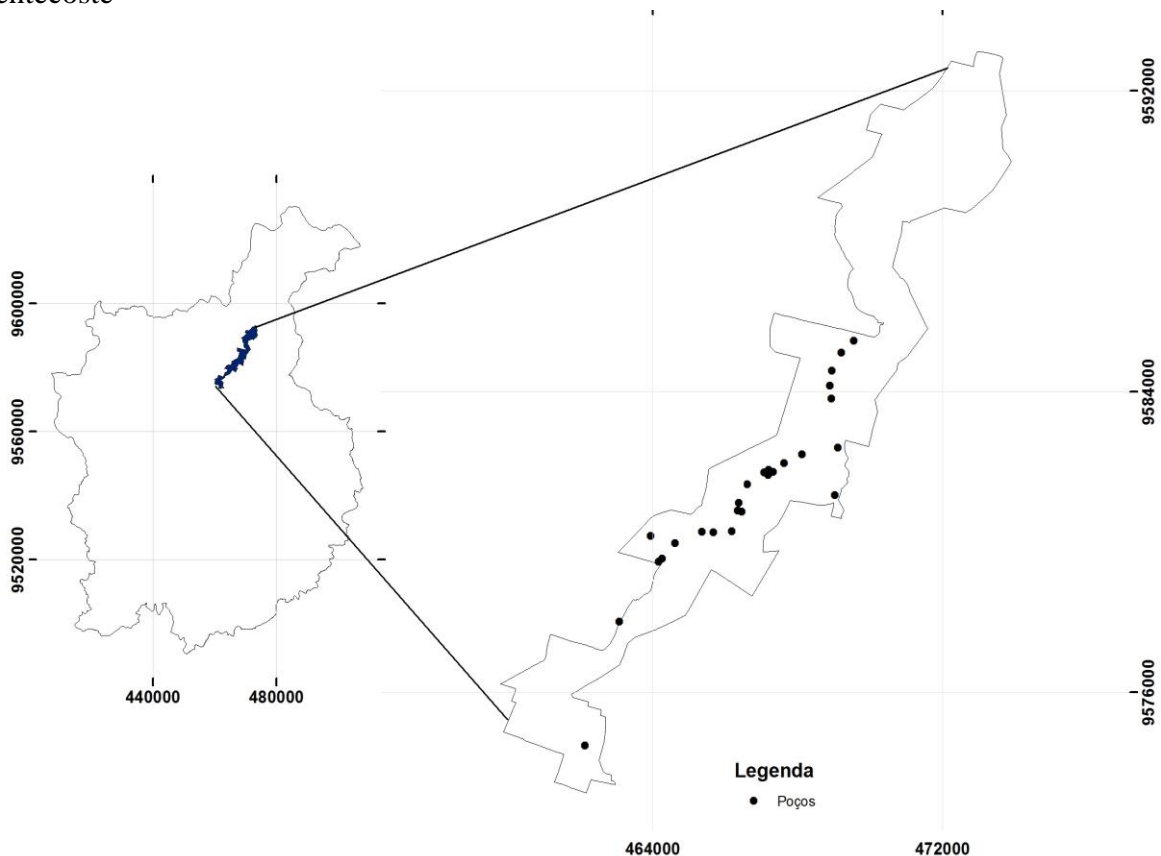
Foi calculado, ainda, o período “payback”, que corresponde ao número de anos no fluxo de caixa que os benefícios acumulados superam os custos acumulados. O “payback”, de acordo com Azevedo Filho (1995), trata-se do período ou prazo de recuperação do capital, sendo um indicador voltado à medida do tempo necessário para que um projeto recupere o capital investido, sendo o projeto tanto mais atrativo economicamente quanto menor for o seu período “payback”.

### 3.8 Capacidade de suporte de poços rasos tubulares para a irrigação

Foi realizado o cadastramento e mapeamento de todos os poços rasos tubulares localizados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, com o objetivo de identificar o maior número de poços representativos da área e obter informações sobre suas características construtivas, litológicas e hidrogeológicas, como também, gerar subsídios para o acompanhamento da evolução temporal e distribuição espacial das obras hídricas no Perímetro Irrigado.

Os poços foram cadastrados utilizando o GPS portátil GARMIN PLUS 12XL, localizando-os pontualmente através do registro de coordenados UTM e datum SAD-69 para posterior espacialização dos dados (FIGURA 12). Foram identificados 26 poços rasos ao longo do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, alguns apresentando informações de suas principais características, como profundidade, nível estático, nível dinâmico e tipo de revestimento, através de informações obtidas em documento disponibilizado pela Secretaria da Agricultura Irrigada – Seagri (2001) mediante construção das obras de perfuração.

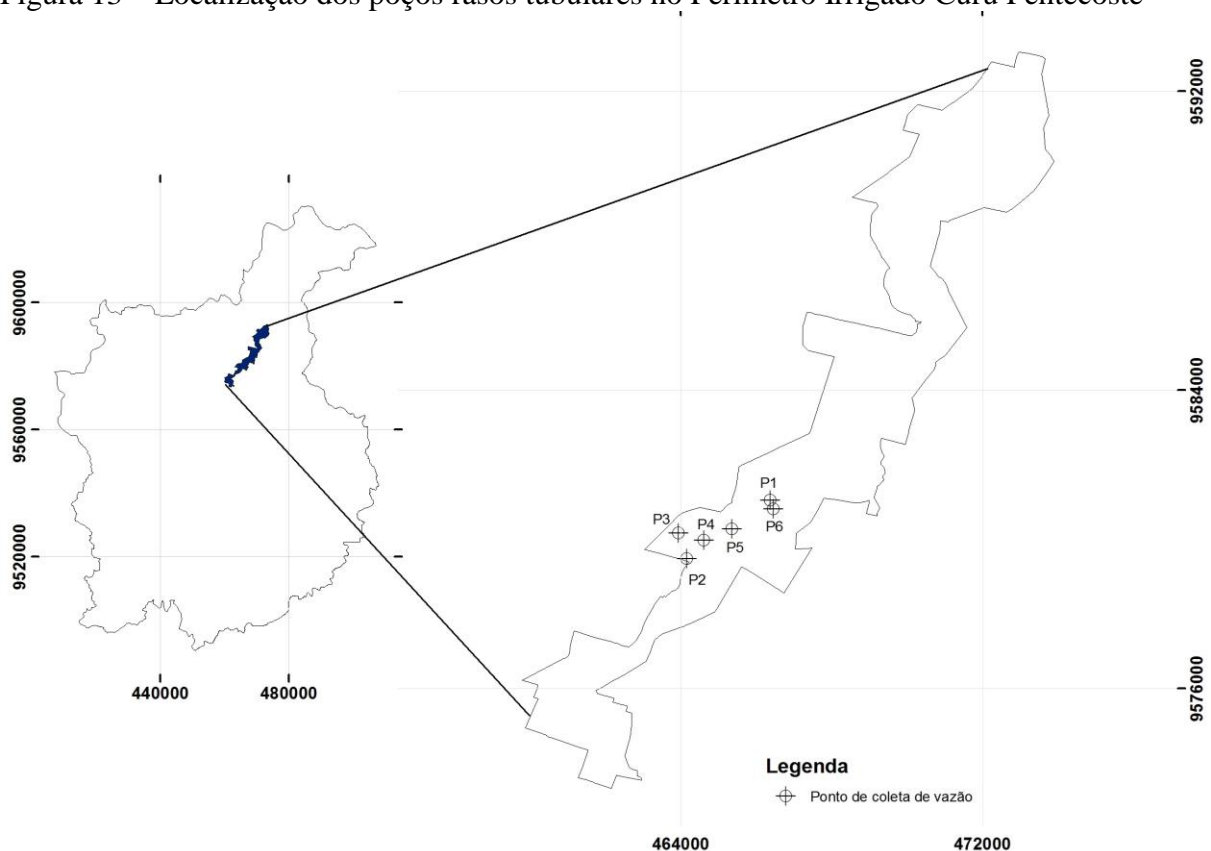
Figura 12 – Localização dos poços rasos tubulares instalados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2013).

Foram selecionados apenas seis poços para avaliação detalhada de capacidade de suporte (Figura 13) por serem os únicos que apresentavam dados de vazões referentes ao ano de suas construções. As informações referentes aos poços rasos são do ano de 2002, os quais apresentam profundidade variando entre 6,0 e 10,0 m de profundidade, níveis estáticos variando entre 0,8 e 3,2 m e níveis dinâmicos de 1,9 a 5,6 m. Já as vazões eram superiores a  $17 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , com valor médio de  $25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

Figura 13 – Localização dos poços rasos tubulares no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2013).

Na Tabela 4 são apresentados valores de vazões de seis poços rasos tubulares localizados nos setores hidráulicos C e D, obtidos mediante testes de bombeamento realizados entre os meses de fevereiro e abril de 2002 no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Para determinação das vazões atuais dos poços rasos foram realizados testes de bombeamento escalonados, com três vazões, segundo metodologia proposta por Jacob-Theis (JACOB, 1947).



Tabela 4 – Identificação, localização e dados de vazões obtidas na época de instalação dos poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste (2002)

Poços	Referência	Coordenadas		Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
		Y	X	
P1	Setor C	466386	9581039	27,20
P2	Setor C	464165	9579478	32,60
P3	Setor C	463952	9580165	17,50
P4	Setor D	464630	9579964	18,00
P5	Setor D	465364	9580274	43,00
P6	Setor D	466468	9580804	16,80

Fonte: Secretaria da Agricultura Irrigada (2001).

Através da variação do rebaixamento e da capacidade específica com o aumento da vazão, é possível selecionar a vazão ótima de bombeamento (BURTE; SCHRADER, 1999). A vazão máxima foi obtida quando o poço atingia um rebaixamento de 2/3 do seu nível estático.

Para realização dos testes de bombeamento foi utilizada uma motobomba auto escorvante à gasolina de 6,5 cv, com vazão máxima de 35 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>, sendo a vazão medida pelo método volumétrico direto com auxílio de tambor de plástico com capacidade de 200 litros (FIGURA 14).

Figura 14 – Conjunto motobomba à gasolina e tambor de 200 L utilizados nos testes de vazão dos poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2013).

Para obtenção dos dados de nível estático e dinâmico dos poços estudados foi utilizado um medidor de nível de água da marca HIDROSUPRIMENTOS, Modelo HSNA-30, com capacidade de fornecer medidas precisas até 30 metros de profundidade (FIGURA 15).

Figura 15 – Medição do nível estático em um poço raso tubular localizado no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2013).

### 3.9 Qualidade da água de irrigação

Foram realizadas análises físicas e químicas das diferentes fontes hídricas disponíveis para utilização ao longo do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. Para o conhecimento do nível de qualidade mais detalhado em que se encontra o corpo d'água do Rio Curu foram realizadas análises microbiológicas em dois trechos ao longo do Perímetro Irrigado.

#### 3.9.1 Pontos de coleta

Os pontos de coleta de água para análises físicas e químicas foram previamente escolhidos com auxílio de mapas do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste e através de visitas aos locais selecionados. Os pontos foram selecionados tomando-se por base a maior disponibilidade e viabilidade para a realização das coletas, e que contemplassem todas as

fontes hídricas disponíveis para irrigação existentes no Perímetro Irrigado. Todas as nove estações foram georreferenciadas, tomando a nomenclatura de rio (R), canal (C), dreno (D) e poço (P) seguidos dos números correspondentes (TABELA 5 e FIGURA 16).

Tabela 5 – Identificação e localização dos pontos de coleta de água para análise dos parâmetros físicos e químicos para as diferentes fontes hídricas do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-CE

Ponto	Corpo Hídrico	Referência	Coordenadas	
			Y	X
R1	Rio	Serrota	462041	9574241
R2	Rio	FEVC	463073	9577850
C1	Canal	Vertedouro	462977	9573594
D1	Dreno	Setor B	462366	9574267
D2	Dreno	Setor C	466030	9580876
P1	Poço Raso	Setor C	466386	9581039
P3	Poço Raso	Setor C	463952	9580165
P4	Poço Raso	Setor D	464630	9579964
P6	Poço Raso	Setor D	466468	9580804

Fonte: Autor (2013).

Figura 16 – Área com plotagem dos pontos de coleta de água para análise dos parâmetros físicos e químicos para as diferentes fontes hídricas do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-CE



Fonte: Autor (2013).

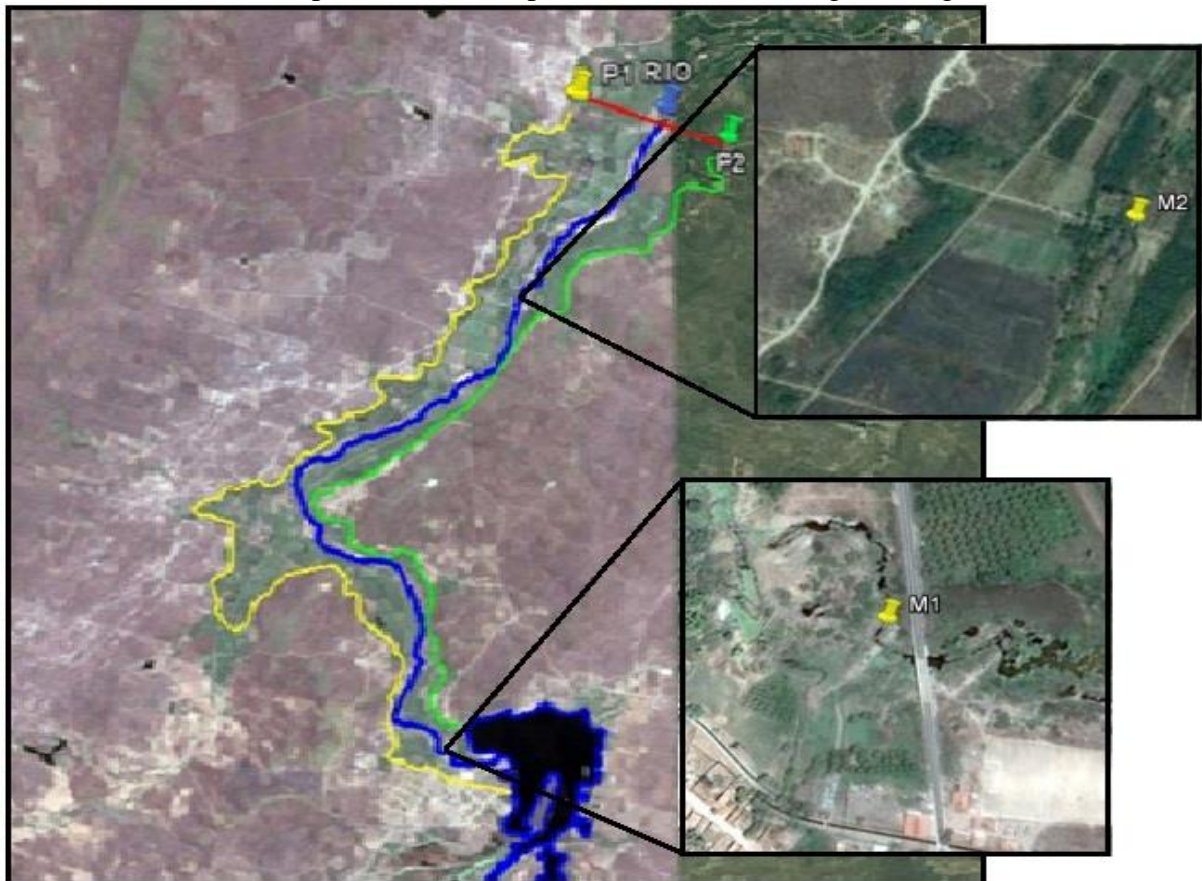
Os pontos de coleta para análise microbiológica foram previamente escolhidos através de visitas aos locais selecionados (TABELA 6 E FIGURA 17). As amostras foram coletadas em dois trechos ao longo do Rio Curu em outubro de 2013, o primeiro ponto (M1) localizado no início da Barragem da Serrota e o segundo ponto (M2) no trecho do Rio Curu que tem como referência a horta da Fazenda Experimental do Vale do Curu (FEVC).

Tabela 6 – Identificação e localização dos pontos de coleta de água para análise microbiológica do rio Curu no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-CE

Ponto	Corpo Hídrico	Referência	Coordenadas	
			Y	X
M1	Rio	Barragem Serrota	462520	9573808
M2	Rio	FEVC	463073	9577850

Fonte: Autor (2013).

Figura 17 – Imagem de satélite do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-CE mostrando o rio Curu, indicando os dois pontos de coleta para análise microbiológica da água



Fonte: Google Earth (2013).

### ***3.9.2 Período de realização das coletas***

As coletas das amostras para determinação dos parâmetros físicos e químicos foram realizadas entre setembro de 2013 e março de 2015, com intervalos de seis meses para comparação das alterações ocorridas nas águas superficiais e subterrâneas no período seco e chuvoso. Após a realização das coletas, as mesmas foram enviadas ao Laboratório de Solos/Água da Universidade Federal do Ceará para fins de análise.

Para análise microbiológica da água as amostras foram coletadas em dois trechos ao longo do rio Curu em outubro de 2013. As amostras foram coletadas e enviadas com menos de 12 horas da coleta para a Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – Nutec, órgão responsável pela análise do material.

### ***3.9.3 Procedimentos para a coleta das amostras de água***

No momento da coleta das amostras para determinação dos parâmetros físicos e químicos foi realizada uma “tríplice lavagem” no recipiente de 500 mL previamente identificado, com vistas a diminuir a interferência de qualquer resíduo ou restos de outras coletas na análise laboratorial. As coletas foram realizadas contra a correnteza a uma profundidade de aproximadamente vinte centímetros, quando possível (FIGURA 18).

Foram realizadas as coletas das amostras microbiológicas em recipiente previamente identificado e disponibilizado pela Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará – Nutec. As amostras foram transportadas em recipiente isotérmico com gelo até o Laboratório de Microbiologia dentro do tempo previsto nas normas de análise do material coletado (FIGURA 19).

Figura 18 – Coleta de água para determinação dos parâmetros físicos e químicos das fontes hídricas do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste: (A) Recipiente de Coleta, (B) Identificação do Recipiente, (C) Coleta Poço Raso, (D) Coleta Rio, (E) Coleta Canal e (F) Coleta Dreno



Fonte: Autor (2015).

Figura 19 – Coleta de água para determinação dos parâmetros microbiológico em dois trechos do rio Curu no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2015).

### 3.9.4 Parâmetros analisados

Os parâmetros físicos e químicos analisados foram: cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ), ânions ( $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$ ) e demais parâmetros: RAS, Condutividade Elétrica (CE), pH e Sólidos Dissolvidos (SD), conforme Tabela 7. Na análise serão consideradas as possíveis alterações ocorridas nas águas superficiais e subterrâneas do ponto de vista espacial e temporal.

Tabela 7 – Parâmetros físicos e químicos para avaliação da qualidade da água

Parâmetros analisados	Unidade
Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ )	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ )	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Sódio ( $\text{Na}^+$ )	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Potássio ( $\text{K}^+$ )	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ )	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Cloreto ( $\text{Cl}^-$ )	$\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$
Sólidos Dissolvidos (SD)	$\text{mg L}^{-1}$
Condutividade elétrica (CEa)	$\text{dS m}^{-1}$
Razão de Adsorção de Sódio (RAS)	-
pH	-

Fonte: Autor (2015).

Os parâmetros microbiológicos analisados em laboratório foram os seguintes: Coliformes Totais e *Escherichia Coli* conforme Tabela 8. As amostras analisadas foram classificadas quanto a classe do corpo d'água de acordo com a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do Conama, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011.

Tabela 8 – Parâmetros microbiológicos para avaliação da qualidade da água

Parâmetros analisados	Unidade
Coliformes Totais	$\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$
<i>Escherichia Coli</i>	$\text{NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$

Fonte: Autor (2015).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Produtividade da água

Na Tabela 9 são apresentados valores de produtividade da água para as culturas da bananeira, mamoeiro e da abóbora, considerando os sistemas de irrigação por superfície (sulcos) e irrigação localizada, com três fontes de água (canal, poço raso e reúso) no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Tabela 9 – Valores de produtividade da água em ( $\text{kg m}^{-3}$ ) e ( $\text{R\$ m}^{-3}$ ) para diferentes cultivos estudados e sistemas de irrigação no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Cultivo	Método de Irrigação	Fonte de água	Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Volume de água por área ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )	PA ( $\text{kg m}^{-3}$ )	PA ( $\text{R\$ m}^{-3}$ )
Bananeira	Superfície	Canal	10.800,0	11.316,0	1,0	0,29
Mamoeiro	Superfície	Canal	42.697,0	6.396,0	6,7	2,34
Mamoeiro	Localizado	Reúso	57.940,0	5.413,4	10,7	3,75
Abóbora	Superfície	Canal	10.296,4	6.645,0	1,5	0,77
Abóbora	Localizado	Reúso	17.549,3	938,2	18,7	9,35
Abóbora	Localizado	Poço	25.365,0	976,9	26,0	12,98

Fonte: Autor (2015).

Os dados demonstram que a cultura da bananeira irrigada pelo sistema tradicional de sulcos utilizado pelos agricultores irrigantes no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste foi o cenário que apresentou maior volume de água aplicada por unidade de área durante um ciclo ( $11.316 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$ ), gerando uma produtividade de  $10.800,0 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Ademais, a bananeira irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste se apresentou como o cenário com menor valor de produtividade da água de irrigação, correspondente a  $0,29 \text{ R\$ m}^{-3}$ , ou seja; para cada  $\text{m}^3$  de água aplicada no cultivo da bananeira irrigada por sulcos obtém-se um valor bruto da produção de  $\text{R\$ } 0,29$ .

A atual sistemática de cobrança de água nos Perímetros Irrigados Públicos Federais que praticam irrigação por superfície, sob a responsabilidade do Dnocs, não incentiva a prática do uso racional da água por parte dos agricultores irrigantes, porquanto tem como base a área irrigada e não o volume de água efetivamente utilizado na irrigação.

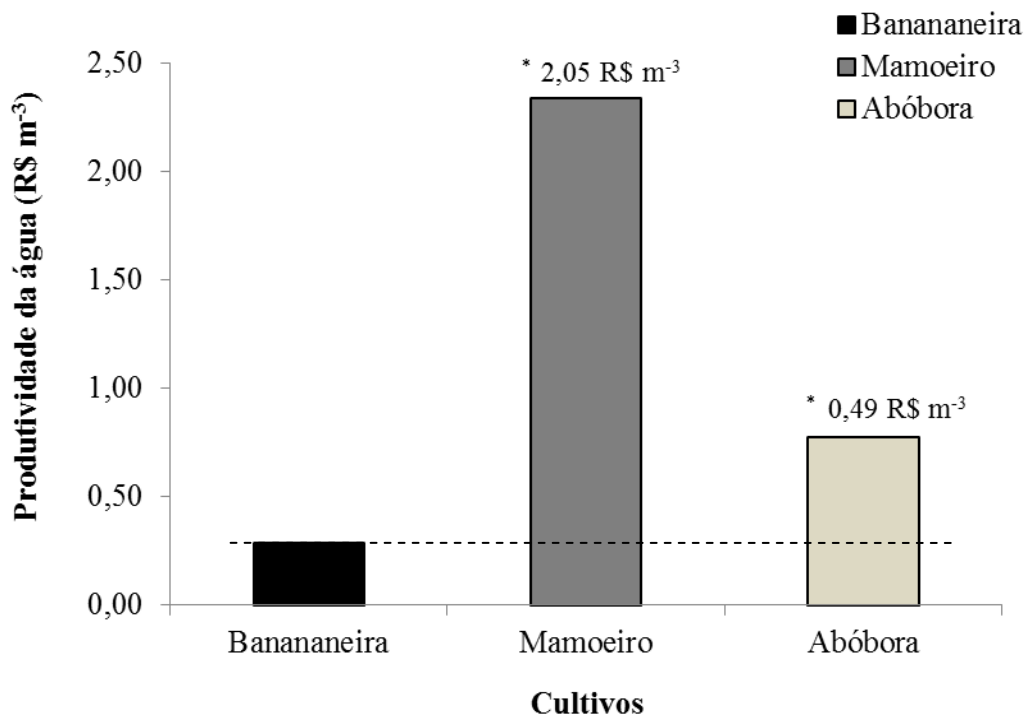
Na Figura 20 ilustram-se os valores de produtividade da água ( $\text{R\$ m}^{-3}$ ) nos cultivos da bananeira, do mamoeiro e da abóbora considerando o sistema de irrigação por sulcos. Tomando-se como referência a cultura da bananeira, verifica-se que o mamoeiro



obteve incremento de 2,05 R\$ m<sup>-3</sup> e a abóbora incremento na produtividade da água da ordem de 0,49 R\$ m<sup>-3</sup>.

A análise comparativa de um cenário considerando exclusivamente os valores de produtividade da água demonstram que a substituição do cultivo da bananeira irrigada por sulcos por cultivos do mamoeiro e da abóbora com o mesmo sistema de irrigação, proporcionariam incrementos de produtividade da água de 716% e 171%, respectivamente. Cabe destacar que os agricultores irrigantes deste Perímetro apresentam interesse no cultivo da abóbora e do mamoeiro.

Figura 20 – Produtividade da água (R\$ m<sup>-3</sup>) para os cultivos da bananeira, do mamoeiro e da abóbora irrigada por sulcos



\* Incremento de produtividade da água (R\$ m<sup>-3</sup>) obtido com a substituição da bananeira irrigada por sulcos pelos cultivos do mamoeiro e da abóbora irrigados com o mesmo sistema de irrigação por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Fonte: Autor (2015).

Segundo Marouelli e Calbo (2009), para aumentar a produtividade da água e alcançar a segurança hídrica de um projeto, faz-se necessária uma mudança fundamental no atual desperdício dos padrões de produção da agricultura irrigada. Compreendem ser possível aumentar a produtividade da maioria das culturas entre 10 e 30% e, ao mesmo tempo, reduzir

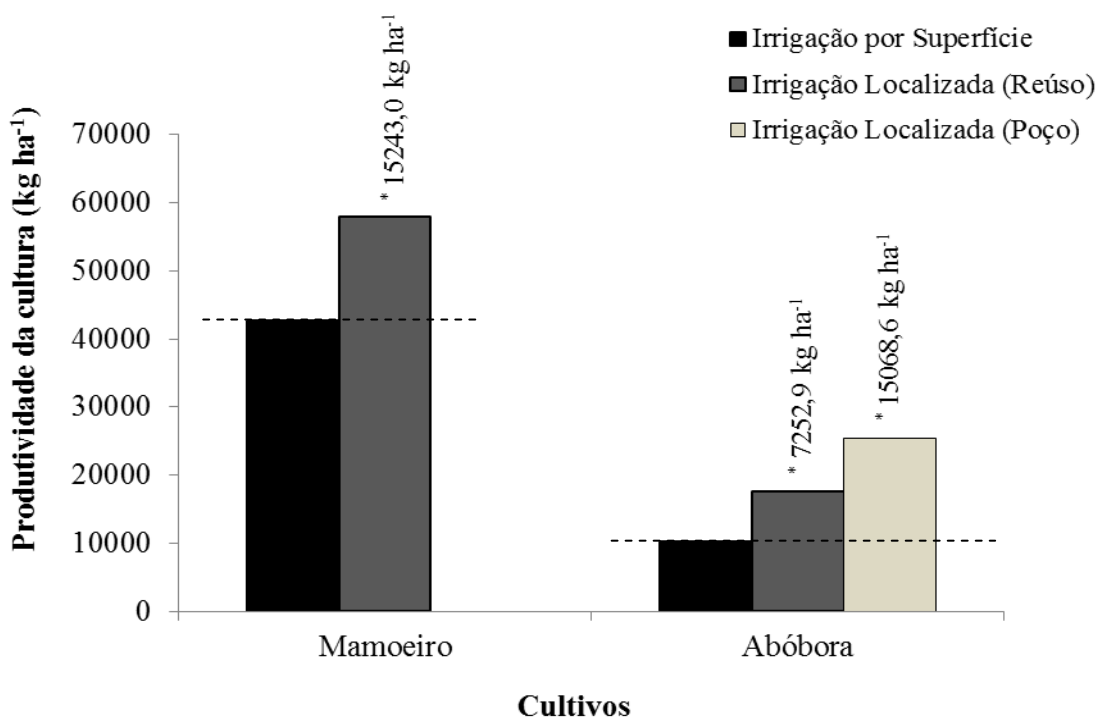
o uso de água em até 30% somente com adoção de estratégias apropriadas no manejo da irrigação.

Playán e Mateos (2006) verificaram que em grandes e antigos Distritos de Irrigação da Espanha foram incentivadas técnicas de manejo para reduzir a aplicação excessiva de água de determinadas culturas e como resultado obtiveram uma considerável economia de água, com praticamente a mesma produtividade das culturas, apenas com a orientação e reeducação dos agricultores.

Segundo Frizzone (2010), a melhoria na produtividade da água exige muito mais que a exploração somente do manejo da água, mas de um conjunto de outros fatores, tais como uso de cultivares melhoradas, manejo da fertilidade do solo e de práticas culturais que influenciem na produtividade.

Na Figura 21 são apresentados os valores de produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) das culturas do mamoeiro e da abóbora e seus respectivos incrementos com a mudança do sistema de irrigação por sulcos para irrigação localizada.

Figura 21 – Produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) dos diferentes cultivos estudados com métodos de irrigação por superfície e localizado utilizando fonte de água proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície e de poço raso



\* Incremento de produtividade da cultura ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) obtido com a mudança de método de irrigação por superfície para método localizado nos cultivos do mamoeiro e da abóbora implantados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Fonte: Autor (2015).

Na cultura do mamoeiro obtiveram-se produtividades de 42.697,0 kg ha<sup>-1</sup> e de 57.940,0 kg ha<sup>-1</sup> quando irrigado por sulcos e microaspersão, respectivamente. Os dados demonstram que a mudança do método de irrigação proporcionou um incremento de 36% na produtividade da cultura do mamoeiro no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, além de uma redução de 15% no volume de água aplicada por unidade de área.

A mudança do método de irrigação por superfície para o método localizado utilizando água proveniente de reúso no cultivo do mamoeiro proporcionou um incremento na produtividade da cultura de 15.243,0 kg ha<sup>-1</sup> e uma redução de volume de água aplicada de 982,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Esse volume de água economizado na mudança do método de irrigação poderia ser utilizado para suprir a necessidade hídrica de um ciclo do cultivo de abóbora em um hectare irrigado de forma localizada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

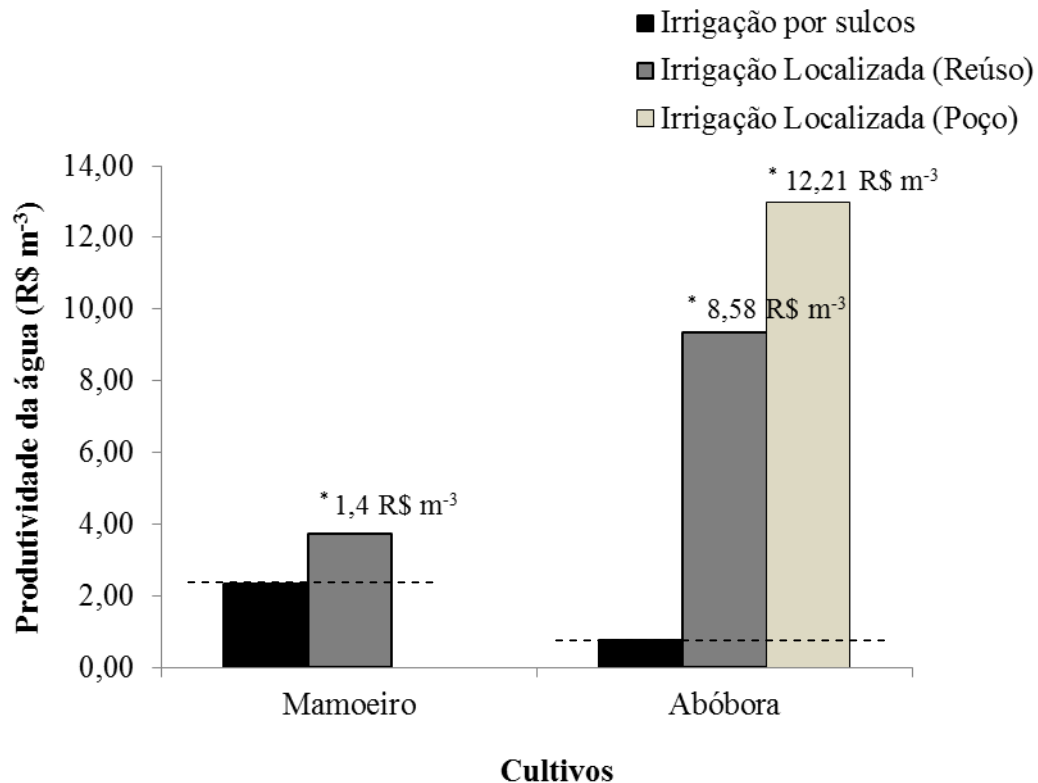
Para o cultivo da abóbora foram obtidos dados de produtividade da cultura de 10.296,4 kg ha<sup>-1</sup> para o método de irrigação por superfície, e de 17.549,3 e 25.365,0 kg ha<sup>-1</sup> para os sistemas de irrigação localizados utilizando água oriundas de reúso e de poço raso, respectivamente. Os incrementos de produtividade foram de 70 e 146% quando se utilizou irrigação localizada com poço e reúso, respectivamente, em comparação ao cultivo da abóbora irrigada por sulcos.

As reduções no volume de água aplicada no cultivo da abóbora irrigada por sistema localizado com fontes hídricas de reúso e poço raso foram de 86 e 85% respectivamente, se comparadas ao uso da irrigação por sulcos. Portanto, a substituição de um hectare de abóbora irrigada por sulcos para irrigação localizada proporcionaria a economia de um volume de água durante o ciclo da cultura de aproximadamente 5700 m<sup>3</sup>, o qual permitiria irrigar por sistema localizado um hectare com mamoeiro durante um ciclo de produção.

Em estudo realizado na Califórnia, Burt e O'Neill (2007) comparando o rendimento e a quantidade de água de irrigação aplicada por sulcos e por gotejamento no cultivo do tomate industrial, em um ambiente moderno com medição de vazão controlada, flexibilidade de entrega de água e disponibilidade de suporte técnico, não observaram praticamente diferença no rendimento da cultura entre os dois métodos de irrigação avaliados. Condição essa bem diferente da realidade do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, onde não se observa modernização da estrutura de produção, além de não contarem com nenhum tipo de assistência técnica para adequação do melhor manejo a ser utilizado por parte dos agricultores, nem tampouco flexibilidade no calendário de entrega de água.

Na Figura 22 são apresentados os valores de produtividade da água ( $\text{R\$ m}^{-3}$ ) e de seus respectivos incrementos com a mudança de método de irrigação utilizado para os diferentes cultivos estudados.

Figura 22 – Produtividade da água ( $\text{R\$ m}^{-3}$ ) dos diferentes cultivos estudados com métodos de irrigação por superfície e localizado utilizando fonte de água proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície e de poço raso



\* Incremento de produtividade da água ( $\text{R\$ m}^{-3}$ ) obtido com a mudança de método de irrigação por superfície para método localizado nos cultivos do mamoeiro e da abóbora implantados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

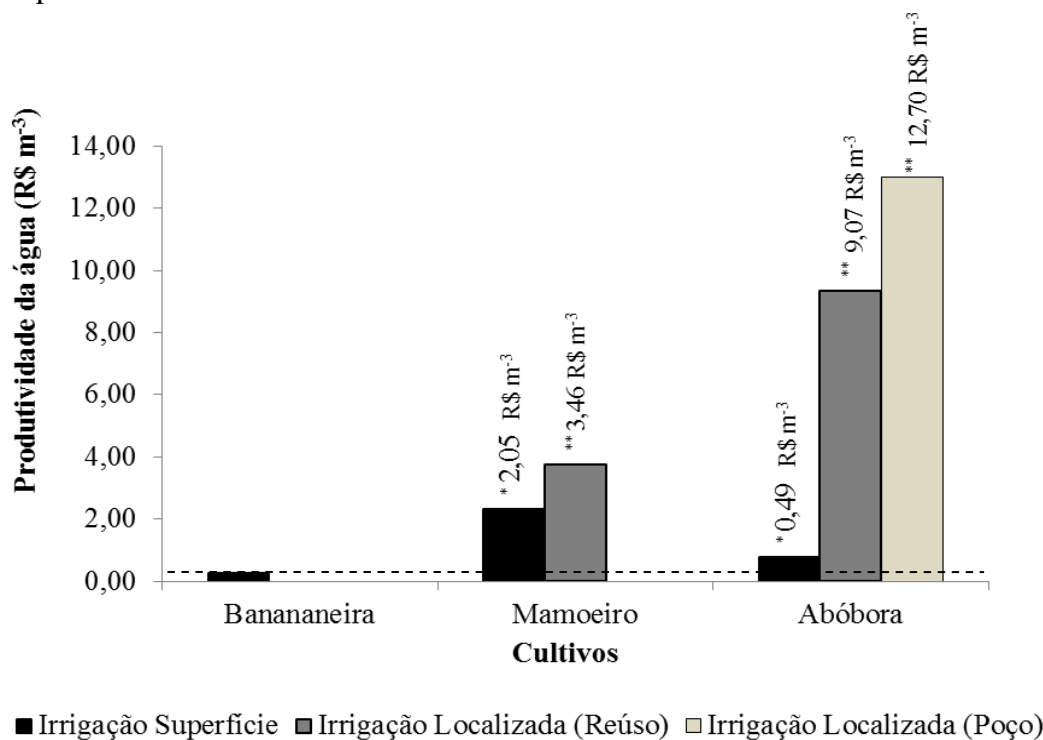
Fonte: Autor (2015).

Foram obtidos dados de produtividade da água de 2,3 e 3,7  $\text{R\$ m}^{-3}$  para o mamoeiro irrigado por sulcos e localizado com água de reúso, respectivamente, apresentando incremento de 1,4  $\text{R\$ m}^{-3}$  quando realizada a substituição do método por superfície para localizado. Somente com a mudança do método de irrigação ocorreu um incremento em termos percentuais de aproximadamente 61% na produtividade da água do mamoeiro no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, como consequência simultânea da obtenção de uma maior produtividade da cultura e de um menor volume de água aplicado ao se utilizar o sistema de irrigação localizada.

A produtividade da água para o cultivo da abóbora foi de 0,77 R\$ m<sup>-3</sup> para o sistema de irrigação por sulcos, já para os sistemas de irrigação localizados utilizando reúso e poço raso os valores foram de 9,35 e 12,98 R\$ m<sup>-3</sup>, respectivamente. O maior incremento de produtividade da água foi observado quando utilizado o método de irrigação localizado com poço raso apresentando valor de 12,21 R\$ m<sup>-3</sup>, quando utilizado como fonte de água o reúso do excesso da irrigação por superfície apresentou ganhos de cerca de 8,6 reais para cada m<sup>3</sup> de água utilizado na produção da abóbora em comparação ao sistema por superfície.

Na Figura 23 são apresentados os valores de produtividade da água (R\$ m<sup>-3</sup>) e de seus respectivos incrementos para a substituição da bananeira irrigada por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste por outros cultivos e também substituição do método de irrigação para localizado.

Figura 23 – Produtividade da água (R\$ m<sup>-3</sup>) e seus respectivos incrementos tomando como referente a substituição da bananeira por outros cultivos, além da mudança do método de irrigação para localizada



\* Incremento de produtividade da água (R\$ m<sup>-3</sup>) obtido com a mudança apenas da cultura, mantendo mesmo método de irrigação por sulcos.

\*\* Incremento de produtividade da água (R\$ m<sup>-3</sup>) obtido com a mudança da cultura e do método de irrigação para localizado.

Fonte: Autor (2015).

Levando em consideração a substituição da cultura da bananeira irrigada por superfície por outros cultivos também irrigados por superfície, verificou-se um incremento na

produtividade da água de 2,05 R\$ m<sup>-3</sup> no cultivo do mamoeiro e de apenas 0,49 R\$ m<sup>-3</sup> no cultivo da abóbora.

Não obstante, num cenário de substituição de cultivos e método de aplicação de água, verificaram-se os maiores incrementos para o cultivo da abóbora irrigada por sistema localizado, sobretudo com água de poço raso, cujo incremento foi de 12,70 R\$ m<sup>-3</sup> comparativamente à bananeira irrigada por superfície (sulcos).

Os dados demonstram que a cultura da abóbora apresentou melhor resposta através da produtividade da água quando realizada a conversão do método de irrigação por superfície para irrigação localizada. No entanto, quando considerado apenas a substituição da cultura da bananeira mantendo o mesmo sistema de irrigação por superfície, o mamoeiro se apresentou com maior viabilidade técnica levando como base os valores obtidos de produtividade da água.

Segundo Castro *et al.* (2007), os níveis de produtividade alcançados em regime irrigado no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste estão aquém do que poderiam ser realmente obtidos com um manejo de irrigação mais adequado por parte dos agricultores irrigantes. Santos (2008), analisando a sistemática de cobrança da tarifa de água mensal K<sub>2</sub> no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, verificou que quando se projetou uma cobrança de água baseada no volume efetivamente utilizado nos principais cultivos estabelecidos no perímetro irrigado, a bananeira apresentou a resposta mais frágil ao se analisar o indicador produtividade da água.

## **4.2 Análise econômica**

Para realização da análise econômica dos diferentes cenários propostos para substituição do cultivo da bananeira irrigada por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, foram utilizados preços coletados na própria região (Pentecoste) para refletir o real potencial econômico das alternativas testadas.

### **4.2.1 Custos totais**

Os custos relatados correspondem ao montante de recursos necessários para a implantação e manutenção de 1,0 ha dos cultivos estudados, sendo essa quantificação realizada para o cultivo da bananeira irrigada por sulcos instalada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, e para outros demais cenários de planos de cultivo propostos para substituição da

referida cultura, abrangendo método de irrigação por superfície e localizado com fontes alternativas de água.

Para efeito de análise econômica foram computados todos os custos com mão de obra, inclusive quando a mão de obra empregada era a do próprio agricultor. Muito embora na prática o agricultor assim não o faça, do ponto de vista da análise econômica do projeto, esta deverá ser computada, visto ser a mão de obra um recurso econômico, havendo de considerar-se que o agricultor poderia empregá-la de forma remunerada prestando serviços a outrem.

Os valores apresentados nas tabelas 10, 12, 14, 16, 18 e 20 são valores nominais, não atualizados e que não levam em consideração as características do financiamento tais como juros, período de carência e prazo de amortização, que nesse caso deverão seguir as normas do Pronaf.

O detalhamento dos custos totais para o horizonte de seis anos de produção dos cultivos estudados pode ser encontrado no APÊNDICE.

#### 4.2.1.1 Custo total do cultivo da bananeira irrigada por superfície

Na Tabela 10 são apresentados os resultados obtidos para os custos necessários para a manutenção do pomar de bananeira irrigada por superfície.

Tabela 10 – Custo total em valores nominais para 1,0 hectare de bananeira irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Ano	CUSTO TOTAL NOMINAL (R\$)				
	Insumos	Mecanização	Mão de obra	Equipamento	Total
1	662,78	0,00	1.620,00	600,00	2.882,78
2	662,78	0,00	1.620,00	-	2.282,78
3	662,78	0,00	1.620,00	-	2.282,78
4	662,78	0,00	1.620,00	-	2.282,78
5	662,78	0,00	1.620,00	-	2.282,78
6	662,78	0,00	1.620,00	-	2.282,78

Fonte: Autor (2015).

Os custos constantes dos três primeiros anos correspondem ao valor do financiamento, perfazendo um valor total de R\$ 7.448,34 (sete mil, quatrocentos e quarenta e oito reais e trinta e quatro centavos), a ser liberado em três parcelas anuais de valores iguais aos das parcelas de investimento realizadas em cada um dos três primeiros anos de cultivo, conforme a Tabela 11. A taxa de juros praticada corresponde a 1% ao ano, por apresentar

valor de financiamento total menor que R\$10.000,00, devendo a amortização ser iniciada no ano três e a dívida inteiramente quitada ao sexto ano do cultivo.

Tabela 11 – Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de bananeira irrigada por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

(I)	(II)	(III)	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ANO	Invest. + Custeio	Parcela Financiada	Financ. Acumulado	Amortiz.	Saldo simples	Juros	Amortiz. + juros	Saldo Devedor	Custos
1	2.882,78	2.882,78	2.882,78			28,83			-
2	2.282,78	2.282,78	5.165,56			51,66			-
3	2.282,78	2.282,78	7.448,34			74,48		7.677,79	-
4	2.282,78			2.482,78	4.965,56	49,66	2.559,26	5.118,53	4.842,04
5	2.282,78			2.482,78	2.482,78	24,83	2.559,26	2.559,26	4.842,04
6	2.282,78			2.482,78	0,00	0,00	2.559,26	0,00	4.842,04
Total	14.296,68	7.448,34				229,45			14.526,13

Fonte: Autor (2015).

#### 4.2.1.2 Custo total do cultivo do mamoeiro irrigado por superfície

Para cálculo dos custos relacionados ao mamoeiro irrigado por superfície (Cenário 1) foi considerado que a cultura tem um ciclo produtivo de três anos, sendo assim necessário a replantagem da cultura no quarto ano da análise econômica.

A Tabela 12 apresenta os custos necessários para implantação e manutenção do pomar de mamoeiro irrigado por superfície.

Tabela 12 – Custo total em valores nominais para 1,0 hectare de mamoeiro irrigado por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Ano	CUSTO TOTAL NOMINAL (R\$)				
	Insumos	Mecanização	Mão de obra	Equipamento	Total
1	4.249,56	480,00	2.220,00	600,00	7.549,56
2	1.693,78	0,00	2.100,00	-	3.793,78
3	928,78	0,00	1.180,00	-	2.108,78
4	4.249,56	480,00	2.220,00	-	6.949,56
5	1.693,78	0,00	2.100,00	-	3.793,78
6	928,78	0,00	1.180,00	-	2.108,78

Fonte: Autor (2015).

O valor total do financiamento tomado para esse cenário foi de R\$ 13.452,12 (treze mil quatrocentos e cinquenta e dois reais e doze centavos), a ser liberado em três



parcelas anuais de valores iguais. Na Tabela 13 são apresentados os valores nominais dos custos em reais, com período de abrangência de seis anos, apresentando prazos e juros relativos ao financiamento do Pronaf.

Tabela 13 – Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de mamoeiro irrigado por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

(I)	(II)	(III)	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ANO	Invest. + Custeio	Parcela Financiada	Financ. Acumulado	Amortiz.	Saldo simples	Juros	Amortiz. + juros	Saldo Devedor	Custos
1	7.549,56	7.549,56	7.549,56			150,99			-
2	3.793,78	3.793,78	11.343,34			226,87			-
3	2.108,78	2.108,78	13.452,12			269,04		14.368,06	-
4	6.949,56			4.484,04	8.968,08	179,36	4.789,35	9.578,71	11.738,91
5	3.793,78			4.484,04	4.484,04	89,68	4.789,35	4.789,35	8.583,13
6	2.108,78			4.484,04	0,00	0,00	4.789,35	0,00	6.898,13
Total	26.304,24	13.452,12				915,94			27.220,18

Fonte: Autor (2015).

A taxa de juros praticada para a área de mamoeiro irrigado por superfície instalada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste foi de 2% ao ano, visto que o valor de financiamento total se encontra na faixa entre 10 e 50 mil reais. A amortização do valor financiado deverá se iniciar no terceiro ano e a dívida inteiramente quitada ao sexto ano do cultivo.

Ao se comparar os valores nominais dos custos do cultivo da bananeira irrigada por superfície com os valores dos custos do cultivo do mamoeiro também irrigado por sulcos, constata-se um aumento em torno de 87%. O aumento percentual dos custos entre os cultivos estudados se deve basicamente à diferença nos respectivos custos de produção. Segundo Custódio (2001), a cultura da banana apresenta baixo custo produtivo em comparação às principais culturas agrícolas cearenses.

#### *4.2.1.3 Custo total do cultivo do mamoeiro irrigado de forma localizada com água proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície*

Na Tabela 14 são apresentados os custos para implantação e manutenção de um pomar de mamoeiro irrigado de forma localizada com água proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície (Cenário 2).

Os custos constantes dos três primeiros anos correspondem ao valor do financiamento, com valor total de R\$ 17.321,76 (dezessete mil trezentos e vinte e um reais e setenta e seis centavos), com taxa de juros praticada de 2% ao ano, conforme Tabela 15.

Tabela 14 – Custo total em valores nominais para 1,0 hectare de mamoeiro irrigado de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Ano	CUSTO TOTAL NOMINAL (R\$)				
	Insumos	Mecanização	Mão de obra	Equipamento	Total
1	4.432,77	400,00	2.220,00	4.000,00	11.052,77
2	1.876,99	0,00	2.100,00	-	3.976,99
3	1.111,99	0,00	1.180,00	-	2.291,99
4	4.432,77	400,00	2.220,00	-	7.052,77
5	1.876,99	0,00	2.100,00	-	3.976,99
6	1.111,99	0,00	1.180,00	-	2.291,99

Fonte: Autor (2015).

Tabela 15 – Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de mamoeiro irrigado de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

(I)	(II)	(III)	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ANO	Invest. + Custeio	Parcela Financiada	Financ. Acumulado	Amortiz.	Saldo simples	Juros	Amortiz. + juros	Saldo Devedor	Custos
1	11.052,77	11.052,77	11.052,77			221,06			-
2	3.976,99	3.976,99	15.029,77			300,60			-
3	2.291,99	2.291,99	17.321,76			346,44		18.536,28	-
4	7.052,77			5.773,92	11.547,84	230,96	6.178,76	12.357,52	13.231,53
5	3.976,99			5.773,92	5.773,92	115,48	6.178,76	6.178,76	10.155,75
6	2.291,99			5.773,92	0,00	0,00	6.178,76	0,00	8.470,75
Total	30.643,52	17.321,76				1214,52			31.858,04

Fonte: Autor (2015).

Ao se comparar os valores dos custos do cultivo da bananeira irrigada por superfície com os valores dos custos do cultivo do mamoeiro irrigado de forma localizada com água proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície, tem-se um incremento de aproximadamente 120%. A principal diferença nos custos de produção entre as áreas irrigadas com os diferentes métodos de irrigação para as condições desta pesquisa se refere ao valor despendido para aquisição do sistema de irrigação localizada, item esse responsável pela maior participação no montante do investimento inicial. Segundo Lyra, Ponciano e Golynsky (2006), o sistema de cultivo do mamão utilizando irrigação localizada requer um alto

investimento inicial, demandando todo um estudo do seu potencial produtivo, além de uma análise de sua viabilidade econômica.

#### 4.2.1.4 Custo total do cultivo da abóbora irrigada por superfície

Para cálculo dos custos relacionados à cultura da abóbora (Cenário 3 e 4), por se tratar de uma cultura anual, foram incorporados os custos de dois outros cultivos durante o ano, do milho espiga (sequeiro) cultivado nos meses de fevereiro a abril e do feijão de corda, sob condições de irrigação nos meses de agosto a outubro, sendo estes dois cultivos tradicionais no Perímetro Irrigado.

Na tabela 16 são apresentados os custos computados sob tais condições e necessários para a implantação e manutenção da área de 1,0 ha.

Tabela 16 – Custo total em valores nominais para 1,0 hectare de abóbora irrigada por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste\*

Ano	CUSTO TOTAL NOMINAL* (R\$)				
	Insumos	Mecanização	Mão de obra	Equipamento	Total
1	1.442,20	960,00	2.700,00	600,00	5.702,20
2	1.442,20	960,00	2.700,00	-	5.102,20
3	1.442,20	960,00	2.700,00	-	5.102,20
4	1.442,20	960,00	2.700,00	-	5.102,20
5	1.442,20	960,00	2.700,00	-	5.102,20
6	1.442,20	960,00	2.700,00	-	5.102,20

\* Custo total com incorporação dos cultivos do milho espiga (sequeiro) e do feijão de corda (irrigação).  
Fonte: Autor (2015).

Tabela 17 – Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de abóbora/milho/feijão irrigados por superfície no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste\*

(I)	(II)	(III)	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ANO	Invest. + Custeio	Parcela Financiada	Financ. Acumulado	Amortiz.	Saldo simples	Juros	Amortiz. + juros	Saldo Devedor	Custos
1	5.702,20	5.702,20	5.702,20			114,04			-
2	5.102,20	5.102,20	10.804,40			216,09			-
3	5.102,20	5.102,20	15.906,60			318,13		16.873,00	-
4	5.102,20			5.302,20	10.604,40	212,09	5.624,33	11.248,66	10.726,53
5	5.102,20			5.302,20	5.302,20	106,04	5.624,33	5.624,33	10.726,53
6	5.102,20			5.302,20	0,00	0,00	5.624,33	0,00	10.726,53
Total	31.213,20	15.906,60				966,40			32.179,60

\* Custo total com incorporação dos cultivos do milho espiga (sequeiro) e do feijão de corda (irrigação).  
Fonte: Autor (2015).

O valor total do financiamento foi de R\$ 15.906,60 (quinze mil novecentos e seis reais e sessenta centavos), a ser liberados em três parcelas anuais de valores iguais aos das parcelas de investimento realizadas em cada um dos três primeiros anos de cultivo, com taxa de juros de 2% ao ano, conforme Tabela 17.

Ao se comparar os valores dos custos do cultivo da bananeira irrigada por superfície com os valores dos custos do cultivo da abóbora com mesmo método de irrigação, temos um incremento de aproximadamente 122%. O aumento dos custos de produção entre as culturas avaliadas se deve basicamente pela implantação da rotação de culturas anuais no cenário 3 (Abóbora, Milho e Feijão), promovendo assim elevação dos custos operacionais de produção. Cruz e Magalhães (2013) estudando a prática de rotação de culturas com leguminosas constataram aumento nos custos operacionais para o produtor, por outro lado, promoveu benefícios agrônômicos para recuperação da produtividade.

#### 4.2.1.5 Custo total do cultivo da abóbora irrigada de forma localizada com água proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície

Na tabela 18 são apresentados os custos necessários à implantação e manutenção de 1,0 ha para o cenário proposto.

Tabela 18 – Custo total em valores nominais para um (1,0) hectare de abóbora/milho/feijão irrigados de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste\*

Ano	CUSTO TOTAL NOMINAL (R\$)				
	Insumos	Mecanização	Mão de obra	Equipamento	Total
1	1.213,04	880,00	2.700,00	4.500,00	9.293,04
2	1.213,04	880,00	2.700,00	-	4.793,04
3	1.213,04	880,00	2.700,00	-	4.793,04
4	1.213,04	880,00	2.700,00	-	4.793,04
5	1.213,04	880,00	2.700,00	-	4.793,04
6	1.213,04	880,00	2.700,00	-	4.793,04

\* Custo total com incorporação dos cultivos do milho espiga (sequeiro) e do feijão de corda (irrigação).  
Fonte: Autor (2015).

O valor total do financiamento para a área estudada foi de R\$ 18.879,11 (dezoito mil oitocentos e setenta e nove reais e onze centavos), apresentando taxa de juros de 2% ao ano, conforme Tabela 19.

Ao se comparar os valores dos custos do cultivo da bananeira irrigada por superfície com os valores dos custos do cultivo da abóbora irrigada de forma localizada com

água proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície, constata-se um aumento dos custos em torno de 137%. A principal diferença de incremento nos custos de produção tomando como base o cultivo da bananeira foi basicamente a aquisição do sistema de irrigação localizada.

Tabela 19 – Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de abóbora/milho/feijão irrigados de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste \*

(I)	(II)	(III)	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ANO	Invest. + Custeio	Parcela Financiada	Financ. Acumulado	Amortiz.	Saldo simples	Juros	Amortiz. + juros	Saldo Devedor	Custos
1	9.293,04	9.293,04	9.293,04			185,86			-
2	4.793,04	4.793,04	14.086,07			281,72			-
3	4.793,04	4.793,04	18.879,11			377,58		20.101,85	-
4	4.793,04			6.293,04	12.586,07	251,72	6.700,62	13.401,24	11.493,65
5	4.793,04			6.293,04	6.293,04	125,86	6.700,62	6.700,62	11.493,65
6	4.793,04			6.293,04	0,00	0,00	6.700,62	0,00	11.493,65
Total	33.258,22	18.879,11				1222,75			34.480,96

\* Custo total com incorporação dos cultivos do milho espiga (sequeiro) e do feijão de corda (irrigação).

Fonte: Autor (2015).

#### 4.2.1.6 Custo total do cultivo do abóbora irrigada de forma localizada com água proveniente de poço raso

Na tabela 20 são apresentados os custos necessários à implantação e manutenção do pomar para 1,0 ha para o cenário proposto, além da construção de um poço raso tubular.

Tabela 20 – Custo total em valores nominais para um (1,0) hectare de abóbora/milho/feijão irrigados de forma localizada com água proveniente de poço raso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste \*

Ano	CUSTO TOTAL NOMINAL (R\$)				
	Insumos	Mecanização	Mão de obra	Equipamento	Total
1	1.215,96	880,00	2.700,00	5.580,00	10.375,96
2	1.215,96	880,00	2.700,00	-	4.795,96
3	1.215,96	880,00	2.700,00	-	4.795,96
4	1.215,96	880,00	2.700,00	-	4.795,96
5	1.215,96	880,00	2.700,00	-	4.795,96
6	1.215,96	880,00	2.700,00	-	4.795,96

\* Custo total com incorporação dos cultivos do milho espiga (sequeiro) e do feijão de corda (irrigação).

Fonte: Autor (2015).

Os custos constantes dos três primeiros anos correspondem ao valor do financiamento de R\$ 19.967,87 (dezenove mil novecentos e sessenta e sete reais e oitenta e sete centavos), com juros de 2% ao ano relativo ao financiamento do Pronaf (TABELA 21).

Tabela 21 – Valores nominais dos custos totais, financiamento, amortização e juros ao longo de seis anos em 1,0 hectare de abóbora/milho/feijão irrigados de forma localizada com água proveniente de poço raso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste\*

(I)	(II)	(III)	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ANO	Invest. + Custeio	Parcela Financiada	Financ. Acumulado	Amortiz.	Saldo simples	Juros	Amortiz. + juros	Saldo Devedor	Custos
1	10.375,96	10.375,96	10.375,96			207,52			-
2	4.795,96	4.795,96	15.171,91			303,44			-
3	4.795,96	4.795,96	19.967,87			399,36		21.277,54	-
4	4.795,96			6.655,96	13.311,91	266,24	7.092,51	14.185,03	11.888,47
5	4.795,96			6.655,96	6.655,96	133,12	7.092,51	7.092,51	11.888,47
6	4.795,96			6.655,96	0,00	0,00	7.092,51	0,00	11.888,47
Total	34.355,74	19.967,87				1309,67			35.665,42

\* Custo total com incorporação dos cultivos do milho espiga (sequeiro) e do feijão de corda (irrigação).  
Fonte: Autor (2015).

Ao se comparar os valores dos custos do cultivo da bananeira irrigada por superfície com os valores dos custos do cultivo da abóbora irrigada de forma localizada com água proveniente de poço raso tubular, constata-se um aumento dos custos de aproximadamente 146%. Esse incremento é superior em 9% ao cenário anterior que utiliza também irrigação localizada, no entanto com fonte hídrica proveniente de reúso do excesso da irrigação por superfície. O aumento dos custos se deve basicamente à aquisição e instalação de poço raso tubular.

#### 4.2.2 *Receitas brutas*

As receitas contabilizadas foram oriundas da venda da produção dos cultivos no mercado local (cidade de Pentecoste), com preços atualizados para o mesmo ano agrícola. Na Tabela 22 são apresentados os valores nominais das receitas brutas dos diferentes cenários de cultivo como alternativas à substituição da bananeira já implantada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Para as áreas implantadas com abóbora foram incorporados dados de receitas dos cultivos do milho espiga (sequeiro) e do feijão de corda, para complementar os dados anuais de produção para 1,0 hectare. Foi realizado levantamento dos valores de receitas brutas do

milho espiga (sequeiro) e feijão de corda com irrigação por superfície e localizada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, apresentando valores de 1.500,00 R\$ ha<sup>-1</sup>, 3.000,00 R\$ ha<sup>-1</sup> e 6.250,00 R\$ ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Tabela 22 – Valores nominais das receitas brutas dos cultivos analisados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste para um (1,0) hectare

RECEITAS BRUTAS (R\$)						
Ano	Bananeira (Superfície)	Mamoeiro (Superfície)	Mamoeiro (Localizada/Reúso)	Abóbora* (Superfície)	Abóbora* (Localizada/Reúso)	Abóbora* (Localizada/Poço)
1	3.240,00	12809,10	17.382,00	9.648,20	13.274,66	17.182,50
2	3.240,00	7429,28	9.791,10	9.648,20	13.274,66	17.182,50
3	3.240,00	4.867,46	3.916,44	9.648,20	13.274,66	17.182,50
4	3.240,00	12809,10	17.382,00	9.648,20	13.274,66	17.182,50
5	3.240,00	7429,28	9.791,10	9.648,20	13.274,66	17.182,50
6	3.240,00	4.867,46	3.916,44	9.648,20	13.274,66	17.182,50

\* Receita bruta com incorporação dos cultivos do milho espiga (sequeiro) e do feijão de corda (irrigação).  
Fonte: Autor (2015).

O maior valor de receita bruta obtida foi no cenário 5 implantado com a cultura da abóbora irrigada de forma localizada com água proveniente de poço raso tubular, apresentando valor total de receita bruta ao longo dos seis anos correspondente a 96.246,58 R\$ ha<sup>-1</sup>. Quando comparada a receita gerada atualmente com o cultivo da bananeira irrigada por superfície, verifica-se uma elevação de receita bruta com o cultivo da abóbora (poço) da ordem de 77.469,24 R\$ ha<sup>-1</sup>, com incremento percentual de aproximadamente 413%.

#### 4.2.3 *Análise dos indicadores de rentabilidade*

Os indicadores de rentabilidade da análise de investimento foram calculados com base nos valores atualizados dos custos e receitas para cada um dos cenários avaliados, os quais são apresentados nas Tabelas 23 a 28, considerando-se um horizonte de seis anos.

Tabela 23 – Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de bananeira irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Ano	Valores Correntes (R\$)				FD* (r=1%)	Valores Atualizados (R\$)			
	Invest	Custos	Receita	RL		Invest	Custos	Receita	RL**
0	7.448,34	0,00	0,00	-7448,34	1,00	7.448,34	0,00	0,00	-7448,34
1	0,00	0,00	3.240,00	3240,00	0,99	0,00	0,00	3.207,92	3207,92
2	0,00	0,00	3.240,00	3240,00	0,98	0,00	0,00	3.176,16	3176,16
3	0,00	0,00	3.240,00	3240,00	0,97	0,00	0,00	3.144,71	3144,71
4	0,00	2.282,78	3.240,00	957,22	0,96	0,00	2193,71	3.113,58	919,87
5	0,00	2.282,78	3.240,00	957,22	0,95	0,00	2171,99	3.082,75	910,76
6	0,00	2.282,78	3.240,00	957,22	0,94	0,00	2150,48	3.052,23	901,74
<b>Total</b>	<b>7.448,34</b>	<b>6.848,34</b>	<b>19.440,00</b>	<b>5.143,32</b>		<b>7.448,34</b>	<b>6.516,18</b>	<b>18.777,34</b>	<b>4.812,83</b>

\*FD: Fator de desconto; \*\*RL: Receita Líquida.

Fonte: Autor (2015).

Tabela 24 – Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de mamoeiro irrigado por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Ano	Valores Correntes (R\$)				FD* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)			
	Invest	Custos	Receita	RL		Invest	Custos	Receita	RL**
0	13.452,12	0,00	0,00	-13452,12	1,00	13.452,12	0,00	0,00	-13452,12
1	0,00	0,00	12.809,10	12809,10	0,98	0,00	0,00	12.557,94	12557,94
2	0,00	0,00	7.429,28	7429,28	0,96	0,00	0,00	7.140,79	7140,79
3	0,00	0,00	4.867,46	4867,46	0,94	0,00	0,00	4.586,71	4586,71
4	0,00	6.949,56	12.809,10	5859,54	0,92	0,00	6420,32	11.833,63	5413,31
5	0,00	3.793,78	7.429,28	3635,50	0,91	0,00	3436,14	6.728,93	3292,78
6	0,00	2.108,78	4.867,46	2758,68	0,89	0,00	1872,54	4.322,16	2449,63
<b>Total</b>	<b>13.452,12</b>	<b>12.852,12</b>	<b>50.211,67</b>	<b>23.907,43</b>		<b>13.452,12</b>	<b>11.729,00</b>	<b>47.170,16</b>	<b>21.989,04</b>

\*FD: Fator de desconto; \*\*RL: Receita Líquida.

Fonte: Autor (2015).

Tabela 25 – Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de mamoeiro irrigado de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Ano	Valores Correntes (R\$)				FD* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)			
	Invest	Custos	Receita	RL		Invest	Custos	Receita	RL**
0	17.321,76	0,00	0,00	-17321,76	1,00	17.321,76	0,00	0,00	-17321,76
1	0,00	0,00	17.382,00	17382,00	0,98	0,00	0,00	17.041,18	17041,18
2	0,00	0,00	9.791,10	9791,10	0,96	0,00	0,00	9.410,90	9410,90
3	0,00	0,00	3.916,44	3916,44	0,94	0,00	0,00	3.690,55	3690,55
4	0,00	7.052,77	17.382,00	10329,23	0,92	0,00	6515,67	16.058,28	9542,61
5	0,00	3.976,99	9.791,10	5814,11	0,91	0,00	3602,09	8.868,10	5266,02
6	0,00	2.291,99	3.916,44	1624,45	0,89	0,00	2035,22	3.477,69	1442,46
<b>Total</b>	<b>17.321,76</b>	<b>13.321,76</b>	<b>62.179,08</b>	<b>31.535,56</b>		<b>17.321,76</b>	<b>12.152,9</b>	<b>58.546,69</b>	<b>29.071,95</b>

\*FD: Fator de desconto; \*\*RL: Receita Líquida.

Fonte: Autor (2015).



Tabela 26 – Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de abóbora irrigada por sulcos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Ano	Valores Correntes (R\$)				FD* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)			
	Invest	Custos	Receita	RL		Invest	Custos	Receita	RL**
0	15.906,60	0,00	0,00	-15906,60	1,00	15.906,60	0,00	0,00	-15906,60
1	0,00	0,00	9.648,20	9648,20	0,98	0,00	0,00	9.459,02	9459,02
2	0,00	0,00	9.648,20	9648,20	0,96	0,00	0,00	9.273,55	9273,55
3	0,00	0,00	9.648,20	9648,20	0,94	0,00	0,00	9.091,71	9091,71
4	0,00	5.102,20	9.648,20	4546,00	0,92	0,00	4713,64	8.913,45	4199,80
5	0,00	5.102,20	9.648,20	4546,00	0,91	0,00	4621,22	8.738,67	4117,45
6	0,00	5.102,20	9.648,20	4546,00	0,89	0,00	4530,61	8.567,33	4036,72
<b>Total</b>	<b>15.906,60</b>	<b>15.306,60</b>	<b>57.889,20</b>	<b>26.676,00</b>		<b>15.906,60</b>	<b>13.865,47</b>	<b>54.043,73</b>	<b>24.271,65</b>

\*FD: Fator de desconto; \*\*RL: Receita Líquida.

Fonte: Autor (2015).

Tabela 27 – Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de abóbora irrigada de forma localizada com água proveniente de reúso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Ano	Valores Correntes (R\$)				FD* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)			
	Invest	Custos	Receita	RL		Invest	Custos	Receita	RL**
0	18.879,11	0,00	0,00	-18879,11	1,00	18.879,11	0,00	0,00	-18879,11
1	0,00	0,00	13.274,66	13274,66	0,98	0,00	0,00	13.014,37	13014,37
2	0,00	0,00	13.274,66	13274,66	0,96	0,00	0,00	12.759,18	12759,18
3	0,00	0,00	13.274,66	13274,66	0,94	0,00	0,00	12.509,00	12509,00
4	0,00	4.793,04	13.274,66	8481,62	0,92	0,00	4428,02	12.263,73	7835,70
5	0,00	4.793,04	13.274,66	8481,62	0,91	0,00	4341,20	12.023,26	7682,06
6	0,00	4.793,04	13.274,66	8481,62	0,89	0,00	4256,08	11.787,51	7531,43
<b>Total</b>	<b>18.879,11</b>	<b>14.379,11</b>	<b>79.647,93</b>	<b>46.389,71</b>		<b>18.879,11</b>	<b>13.025,30</b>	<b>74.357,06</b>	<b>42.452,65</b>

\*FD: Fator de desconto; \*\*RL: Receita Líquida.

Fonte: Autor (2015).

Tabela 28 – Dados atualizados para o cálculo dos indicadores de rentabilidade no cultivo de 1,0 ha de abóbora irrigada de forma localizada com água proveniente de poço raso no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Ano	Valores Correntes (R\$)				FD* (r=2%)	Valores Atualizados (R\$)			
	Invest	Custos	Receita	RL		Invest	Custos	Receita	RL**
0	19.967,87	0,00	0,00	-19967,87	1,00	19.967,87	0,00	0,00	-19967,87
1	0,00	0,00	17.182,50	17182,50	0,98	0,00	0,00	16.845,59	16845,59
2	0,00	0,00	17.182,50	17182,50	0,96	0,00	0,00	16.515,28	16515,28
3	0,00	0,00	17.182,50	17182,50	0,94	0,00	0,00	16.191,45	16191,45
4	0,00	4.795,96	17.182,50	12386,54	0,92	0,00	4430,72	15.873,97	11443,25
5	0,00	4.795,96	17.182,50	12386,54	0,91	0,00	4343,85	15.562,72	11218,87
6	0,00	4.795,96	17.182,50	12386,54	0,89	0,00	4258,67	15.257,57	10998,90
<b>Total</b>	<b>19.967,87</b>	<b>14.387,87</b>	<b>103.095,00</b>	<b>68.739,26</b>		<b>19.967,87</b>	<b>13.033,24</b>	<b>96.246,59</b>	<b>63.245,47</b>

\*FD: Fator de desconto; \*\*RL: Receita Líquida.

Fonte: Autor (2015).

Levando em consideração que a viabilidade econômica da introdução de novos cultivos, bem como da inserção da irrigação localizada deve passar necessariamente pelo incremento no benefício líquido decorrente destas, considera-se que o empreendimento somente é viável economicamente quando o aumento na receita superar o aumento nos custos ocasionados pelas mudanças propostas.

Os indicadores econômicos para todos os cenários propostos em substituição à bananeira irrigada por superfície são apresentados na Tabela 29, relação benefício/custo (B/C), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) e período “payback” (PB).

Tabela 29 – Valor presente líquido (VPL), relação benefício/custo (B/C), taxa interna de retorno (TIR) e período “payback” (PB) para cada cenário de cultivo estudado

Indicadores*	Indicadores			
	VPL (R\$)	B/C	TIR	PB (anos)
Bananeira	4.812,83	1,34	23,7%	2,34
Cenário 1	21.989,04	1,87	60,3%	1,13
Cenário 2	29.071,95	1,99	62,9%	1,03
Cenário 3	24.271,65	1,82	48,1%	1,70
Cenário 4	42.452,65	2,33	61,8%	1,46
Cenário 5	63.245,47	2,92	80,1%	1,19

\* Cenário 1: Mamoeiro (Superfície); Cenário 2: Mamoeiro (Localizada/Reúso); Cenário 3: Abóbora + Milho + Feijão (Superfície); Cenário 4: Abóbora + Milho + Feijão (Localizada/Reúso); Cenário 5: Abóbora + Milho + Feijão (Localizada/Poço).

Fonte: Autor (2015).

Verifica-se que todos os cenários de planos de cultivo e métodos de irrigação com fontes alternativas de água apresentaram valores presentes líquidos (VPL) positivos e taxa interna de retorno (TIR) superiores à taxa de desconto de 2% (Pronaf), até mesmo para a cultura da bananeira irrigada por superfície atualmente implantada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, sendo este cenário em particular, o que apresentou desempenho mais desfavorável comparativamente aos demais cenários avaliados.

As maiores receitas líquidas obtidas foram registradas nas áreas cultivadas com abóbora irrigada de forma localizada, embora tenham apresentado os maiores custos de investimento. A cultura da abóbora irrigada de forma localizada utilizando poço raso foi o cenário que apresentou maior valor presente líquido de R\$ 63.245,47.

Todos os valores referentes à relação benefício/custo (B/C) foram superiores à unidade, ou seja, benefícios esperados maiores que os custos, indicando assim que os projetos analisados são economicamente viáveis. No entanto, quanto maior for essa relação mais

indicado economicamente será o projeto, sendo os resultados mais favoráveis obtidos para os cenários 5, 4 e 2.

A taxa interna de retorno (TIR) variou de 23,7% para a bananeira irrigada por superfície a 80,1% para a implantação do cultivo da abóbora irrigada de forma localizada com água proveniente de poço raso, significando que o capital alocado no projeto suporta uma elevação da taxa de desconto até esses respectivos valores ao ano, para cada ano do horizonte de análise do projeto. Nessas condições, o referido investimento só será inviável se a taxa média de juros de mercado atingir valores superiores aos das referidas taxas interna de retorno.

Araújo e Correia (2010) ao analisar a rentabilidade econômica da produção da abóbora na região do São Francisco, concluiu através dos parâmetros de desempenho econômico estudados que a cultura mostra ser uma atividade rentável, com registro de cifras bastante expressivas para a região. Revela ainda que o manejo da cultura ocorra predominantemente de forma manual, situação essa que conduz essa exploração ao segmento da pequena produção familiar e lhe confere um significativo valor social.

#### 4.3 Capacidade de suporte de poços rasos tubulares à irrigação

Na tabela 30 são apresentados dados comparativos dos testes de produção dos poços rasos avaliados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste para o ano de construção (2002) e testes realizados no ano de 2013.

Tabela 30 – Vazões dos poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste nos anos de 2002 e 2013

Poços	Proprietário	Núcleo	2002	2013
			Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
P1	Raimundo Madeira Albuquerque	Setor C	27,2	16,5
P2	Bento de Oliveira Castro	Setor C	32,6	*
P3	Joaquim Soares dos Santos	Setor C	17,5	11,9
P4	Adelino Barbosa de Sousa	Setor D	18,0	4,8
P5	Bento Firmino Menezes	Setor D	43,0	**
P6	Alfredo Firmiano Texeira	Setor D	16,8	***


\* Poço Seco; \*\* Poço Aterrado; \*\*\* Poço com nível estático muito baixo para realização do teste de produção.  
Fonte: Autor (2015).

Estes poços foram construídos pelo governo do Estado do Ceará no ano de 2002 e ficaram durante este período sem nenhuma manutenção, vindo a proporcionar problemas como aterramento e entrada de raízes.

A variação nos valores de vazão para um mesmo ano de análise pode ser atribuída às características do perfil litológico dos respectivos poços. Tomando-se como referência os testes de produção nos poços avaliados em 2013 (P1 e P4) verificam-se claramente a relação de vazão com o perfil litológico do solo. Enquanto o poço P1 que apresentou maior vazão tem camada de solo arenosa de granulação com seixos pequenos, o poço P4 que apresentou desempenho desfavorável apresentou formação de solo argiloso (FIGURA 24).

Figura 24 – Perfil litológico dos poços P1 e P4 localizados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

P1 - Raimundo Madeira Albuquerque

ESCALA DE PROFUNDIDADE	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	PERFIL CONSTRUTIVO
1	SOLO ARGILOSO ARENOSO	
2	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO MÉDIA	
3		
4	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA COM SEIXOS PEQUENOS	
5		
6		
7		
8		
9		
10		

P4 - Adelino Barbosa de Sousa

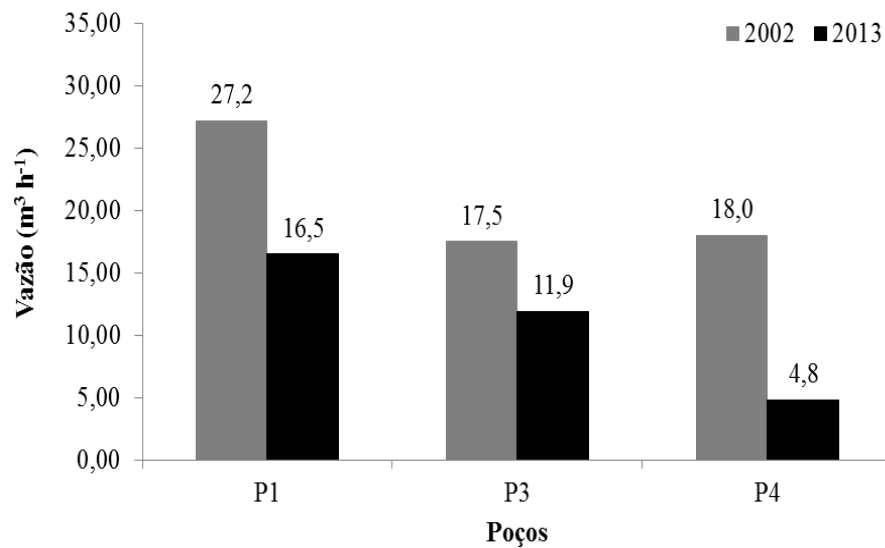
ESCALA DE PROFUNDIDADE	DESCRIÇÃO LITOLÓGICA	PERFIL CONSTRUTIVO
1	SOLO ARGILOSO	
2		
3		
4	SOLO ARENOSO GRANULAÇÃO FINA	
5	SOLO ARGILOSO DE COLORAÇÃO VERDE (SALÃO)	
6		
7	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA	
8		
9		
10		

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada (2001).

Silveira (2014) analisando com maior detalhamento o comportamento de 11 poços rasos tubulares no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, constatou a relação entre a variação de vazão e a variabilidade espacial de atributos dos solos aluviais, em especial da disposição vertical das camadas, cuja textura tem um reflexo nas condições de transmissão de água no solo.

Ao se considerar apenas os poços com testes de produção nos anos de 2002 e 2013 verificam-se que os mesmos apresentaram redução temporal nas vazões (FIGURA 25). Dois aspectos devem ser considerados nesta análise, quais sejam o período atual de escassez de recarga do aquífero e o período de realização dos testes de produção. Os testes de produção em 2002 foram realizados entre os meses de fevereiro a abril, meses pertencentes à quadra chuvosa, ao passo que os testes realizados em 2013 ocorreram nos meses de outubro a dezembro, portanto, na estação seca.

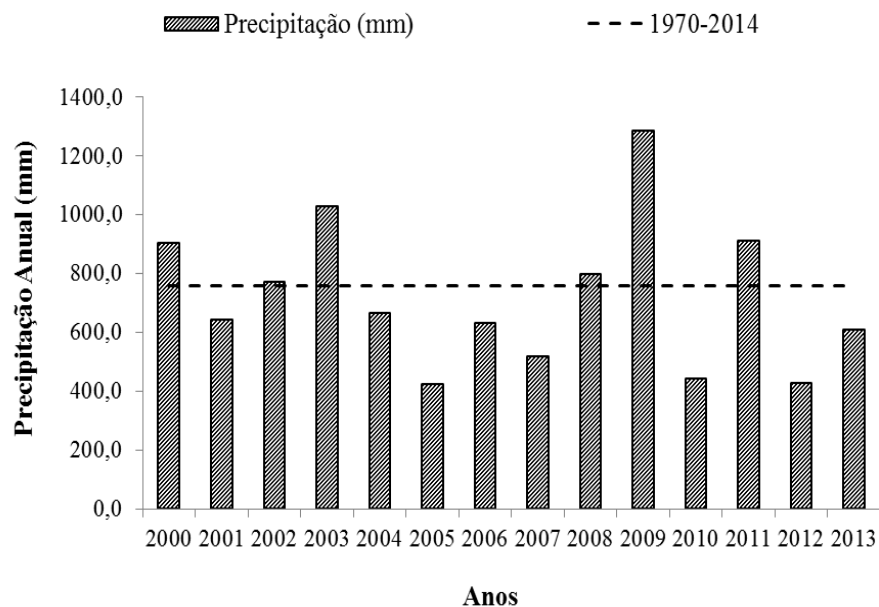
Figura 25 – Variação da vazão dos poços monitorados, nos setores hidráulicos C e D do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, nos anos de 2002 e 2013



Fonte: Autor (2015).

Na Figura 26 são apresentados dados de precipitação para o Perímetro Irrigado Curu Pentecoste (município de Pentecoste-CE) com evolução temporal de 2000 a 2013. Ao se referenciar a média histórica anual (760 mm), verifica-se que 63,6% dos anos posteriores à construção dos poços (2002) apresentaram valores de precipitação anual abaixo desta média.

Figura 26 – Pluviometria anual e média (traço preto) na estação agrometeorológica da FEVC/UFC, localizada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, a partir de dados mensais de pluviometria (período 1970-2014)

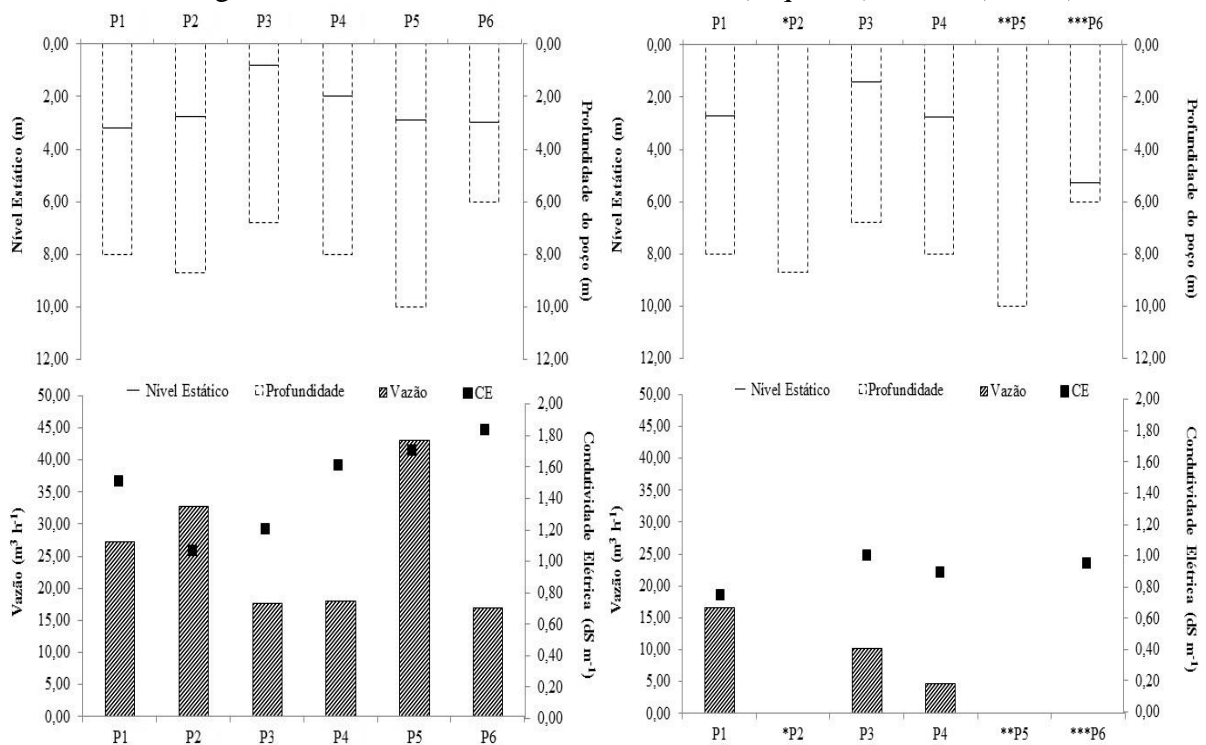


Fonte: Estação agrometeorológica da FEVC/UFC, CE (2015).

Certamente, é de se esperar que o cenário para o ano de 2016 seja ainda mais preocupante com relação à segurança hídrica das águas subterrâneas na região, devendo apresentar valores ainda menores em razão das baixas recargas pluviométricas registradas nos últimos anos. Desta forma, assume relevância que esses dados sejam levantados em nível de campo periodicamente como forma de proporcionar aos agricultores irrigantes tomadas de decisão com um maior nível de segurança.

Na Figura 27 são apresentados dados relativos às vazões, aos níveis estáticos e respectivas condutividades elétricas das águas nos poços analisados nos anos de 2002 e 2013, os quais permitem inferir a variação temporal. A maioria dos poços apresentou em 2013 uma menor carga hidráulica e, portanto, maior nível estático comparativamente ao ano de 2002, porém com variação de pouca significância. Há de se considerar que apesar da escassez hídrica já registrada em 2013, a dinâmica de uso do aquífero aluvial ainda não era tão intensa como no momento atual (dezembro de 2015), cujas cargas hidráulicas disponíveis nos poços estão por demais reduzidas (FIGURA 28).

Figura 27 – Variação do nível estático, vazão e condutividade elétrica dos poços monitorados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, nos anos de 2002 (esquerda) e 2013 (direita)



\* Poço Seco; \*\* Poço Aterrado; \*\*\* Poço com nível estático muito baixo para realização do teste de produção.

Fonte: Autor (2015).

Figura 28 – Trecho do rio Curu em 2013 (A) e 2014 (B), adução de água em cacimbas escavadas no leito do rio (C) e utilização para irrigação por superfície de áreas no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2015).

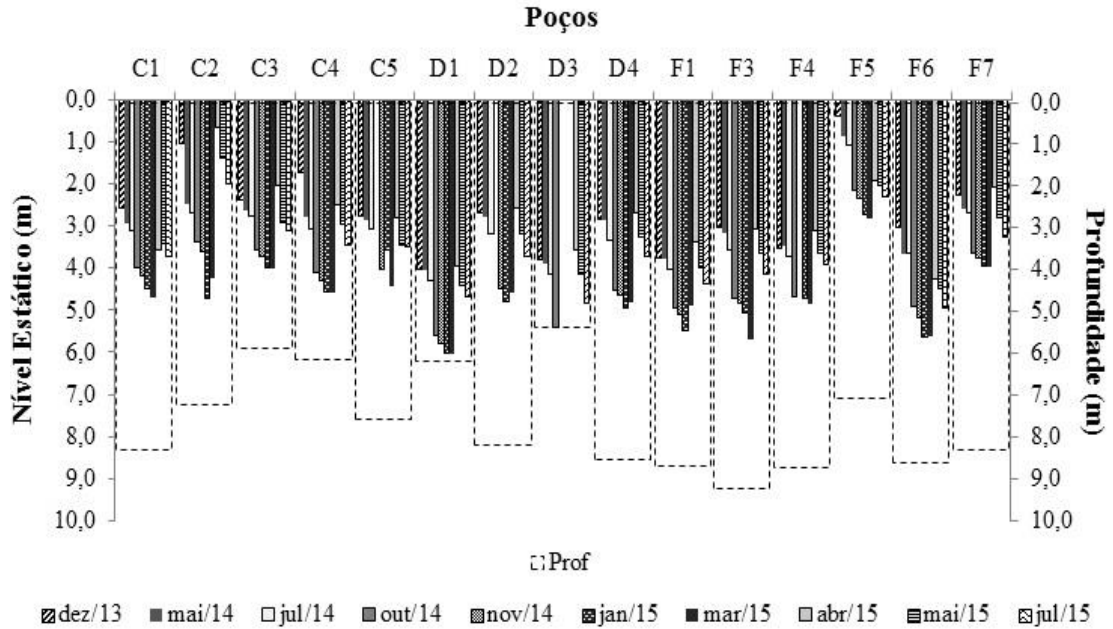
Em janeiro de 2014, a irrigação no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste foi suspensa devido ao baixo nível dos açudes da Bacia Hidrográfica do Rio Curu, sendo que o escoamento natural do Rio Curu cessou em maio do referido ano. Desta forma, os agricultores irrigantes passaram a realizar de forma indiscriminada escavações no leito do rio com o objetivo de realizar uma irrigação de salvação em suas lavouras, vindo a acarretar um rebaixamento mais acentuado nos níveis do lençol freático (FIGURA 29).

Teixeira *et al.* (2008) monitorando níveis estáticos em 52 poços aluviais no Perímetro Irrigado Morada Nova, Ceará, nos anos de 2002 a 2007, concluíram que de um modo geral a variação dos níveis e conseqüentemente da oferta de água dos poços rasos está diretamente relacionada com a precipitação.

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitiram verificar forte correlação positiva ( $r=0,90$ ) da produção dos poços com suas respectivas profundidades (FIGURA 30). Não obstante, em poços profundos construídos em terrenos cristalinos, Davis e Turk (1964) e Banks (1992) estudando o melhor intervalo de profundidade máxima que um poço deve

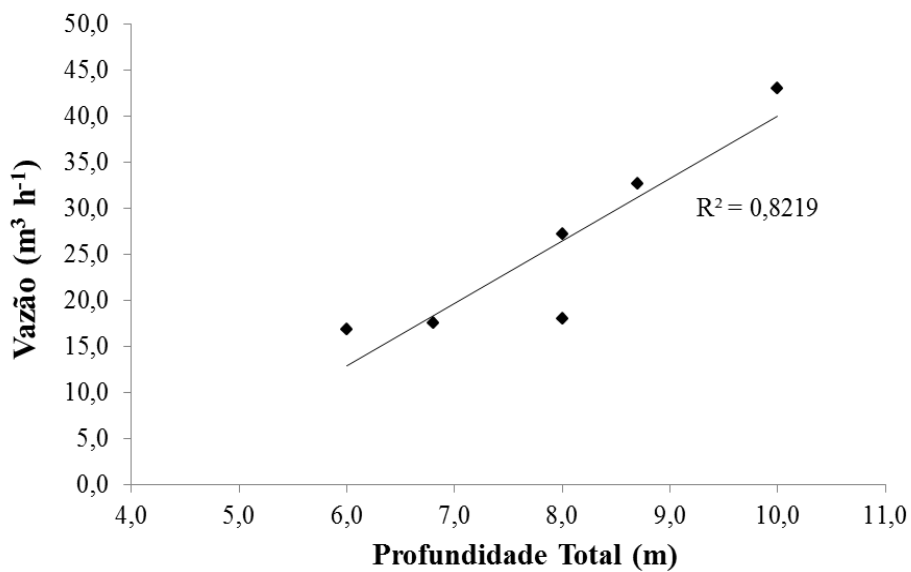
atingir para obter boa produtividade, constataram haver tendência de diminuição da produtividade dos poços com o aumento da profundidade.

Figura 29 – Variação dos níveis estáticos de poços monitorados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste de 2013 a 2015



Fonte: Autor (2015).

Figura 30 – Correlação entre a vazão produzida e a profundidade total dos poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste (2002)



Fonte: Autor (2015).



Avaliação realizada em poços aluviais e no cristalino em 86 municípios do Ceará evidenciou que o potencial de exploração dos poços nos aluviões é muito mais alto que no cristalino por causa da vazão explorável maior e por apresentar menor valor de condutividade elétrica da água (SEAGRI, 2004; CPRM, 2001). Segundo Burte (2008), a exploração do aquífero cristalino é feita a partir de poços tubulares (profundidade ~ 60 m), mas apresentando vazão baixa ( $Q < 2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ). Já os aquíferos aluviais são caracterizados por poços rasos com profundidades menores que 10 metros e vazão maiores que  $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Cabe destacar que sendo os poços rasos localizados nos aluviões, constituem fonte alternativa de recurso hídrico particularmente estratégico em tempos de crise hídrica.

Silveira (2014) avaliou 11 poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste e verificou uma variação acentuada nas vazões destes poços e potencial para suprir a demanda dos cultivos irrigados. Burte (2008) obteve vazão exploratória alta (média de  $16 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ , máxima de  $98 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e mínima de  $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ), ao analisar 175 poços rasos aluviais na bacia do Forquilha, valores esses que permitiria a irrigação de áreas de 0,5 até 5,0 hectares ao longo da planície aluvial.

Na Tabela 31 são apresentados os valores de capacidade de suporte (ha) para irrigação dos poços rasos tubulares localizados nos setores hidráulicos C e D do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, considerando vazão específica ou unitária de  $1,15 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  (correspondente uma lâmina diária de 9,94 mm) para irrigação localizada. Cabe destacar que esta vazão específica constitui valor de projeto para as áreas irrigadas de pequenos agricultores nos Perímetros Irrigados Baixo Acaraú e Tabuleiros de Russas, Ceará.

Tabela 31 – Capacidade de suporte (ha) de poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste para condição de irrigação com demanda livre\* e jornada de 12 h\*\*

Poços	Proprietário	Núcleo	2002			2013		
			Vazão ( $\text{L s}^{-1}$ )	Área* (ha)	Área** (ha)	Vazão ( $\text{L s}^{-1}$ )	Área* (ha)	Área** (ha)
P1	Raimundo Madeira	Setor C	7,6	6,6	3,3	4,58	4,0	2,0
P3	Joaquim Soares	Setor C	4,9	4,2	2,1	3,31	2,9	1,4
P4	Adelino Barbosa	Setor D	5,0	4,3	2,2	1,33	1,2	0,6

\* Demanda livre (24 h); \*\* Jornada de 12 h.

Fonte: Autor (2015).

A capacidade de suporte total para irrigação utilizando os três poços estudados para o ano de construção (2002) foi de 7,6 ha e média de 2,5 ha por poço. Já para o ano de 2013 essa capacidade é reduzida para um total de 4,0 ha e média de 1,4 ha por poço,

considerando-se uma jornada diária de irrigação de 12 horas. Observa-se ainda que a área atendida por cada poço raso é inferior a quatro hectares, para ambos os anos avaliados, área essa caracterizada como lote padrão para os agricultores irrigantes do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Silveira (2014) estudando o comportamento de outros poços rasos localizados no mesmo Perímetro Irrigado obteve resultados satisfatórios com relação a capacidade de suporte para irrigação localizada, sendo que 45% dos poços apresentaram capacidade para irrigar com folga uma área padrão de 4,0 hectares.

#### 4.4 Qualidade da água

##### 4.4.1 Avaliação espacial dos pontos de amostragem

Na Tabela 32 são apresentados os valores da análise estatística para os parâmetros de qualidade da água monitorados, em nível de significância de 5%. O objetivo foi verificar se águas provenientes de reúso do excesso da irrigação por superfície e subterrâneas de poços rasos apresentariam uma qualidade diferenciada das fontes hídricas convencionais do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste (canal e rio), considerando os parâmetros individualmente e não de forma conjunta como até então.

Tabela 32 – Valores dos quadrados médios (Q.M.), F calculado (Fc) e da significância estatística (Pr) dos parâmetros de qualidade de água

Parâmetros	Q.M. pontos	Fc	Pr > Fc
Ca <sup>+2</sup>	0,506735	2,05	0,0898 <sup>ns</sup>
Mg <sup>+2</sup>	1,380711	4,19	0,0040 <sup>**</sup>
Na <sup>+</sup>	0,806504	1,04	0,4363 <sup>ns</sup>
K <sup>+</sup>	0,069281	3,44	0,0110 <sup>*</sup>
Cl <sup>-</sup>	3,057866	1,98	0,1006 <sup>ns</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,245928	3,26	0,0142 <sup>*</sup>
SD	84154,55	1,71	0,1546 <sup>ns</sup>
CE	0,052161	1,81	0,1308 <sup>ns</sup>
RAS	0,142266	0,57	***** <sup>ns</sup>
pH	0,864464	2,84	0,0262 <sup>*</sup>

ns; \* e \*\* significam não significativo, significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Autor (2015).

Pode-se observar pela análise de variância que apenas os parâmetros  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ,  $HCO_3^-$  e pH foram significativos, indicando que a concentração desses íons apresenta uma variabilidade espacial significativa, a qual é resultante principalmente da geologia da região e de ação antrópica (TABELA 33).

Tabela 33 – Teste de comparação das médias dos parâmetros de qualidade de água

Íons	Pontos de coleta								
	P1	P3	P4	P6	D1-B	D2-C	R1-B	R2-FEVC	C1
$Ca^{+2}$	2,38 a	2,35 a	2,60 a	2,95 a	2,43 a	2,05 a	2,28 a	2,13 a	1,65 a
$Mg^{+2}$	3,03 ab	3,85 a	4,30 a	3,88 a	3,30 ab	2,45 ab	3,08 ab	3,18 ab	2,38 b
$Na^+$	2,05 a	2,85 a	2,68 a	3,55 a	2,93 a	2,05 a	2,68 a	2,20 a	2,43 a
$K^+$	0,23 b	0,30 ab	0,28 b	0,15 b	0,63 a	0,40 ab	0,28 b	0,30 ab	0,43 ab
$Cl^-$	4,70 a	6,30 a	5,55 a	7,58 a	6,03 a	4,55 a	5,38 a	5,10 a	5,18 a
$HCO_3^-$	2,95 ab	3,23 b	4,25 a	3,20 ab	3,40 ab	2,45 ab	3,25 ab	2,88 ab	1,40 b
SD	750,0 a	940,0 a	962,5 a	1057,5 a	806,6 a	1120,0 a	835,0 a	777,5 a	692,5 a
CE	0,75 a	0,94 a	0,96 a	1,06 a	0,81 a	0,70 a	0,84 a	0,78 a	0,69 a
RAS	1,27 a	1,61 a	1,47 a	1,91 a	1,52 a	1,33 a	1,58 a	1,31 a	1,63 a
pH	7,08 ab	7,00 ab	6,90 b	6,63 b	7,00 ab	7,00 ab	7,45 ab	7,20 ab	8,28 a

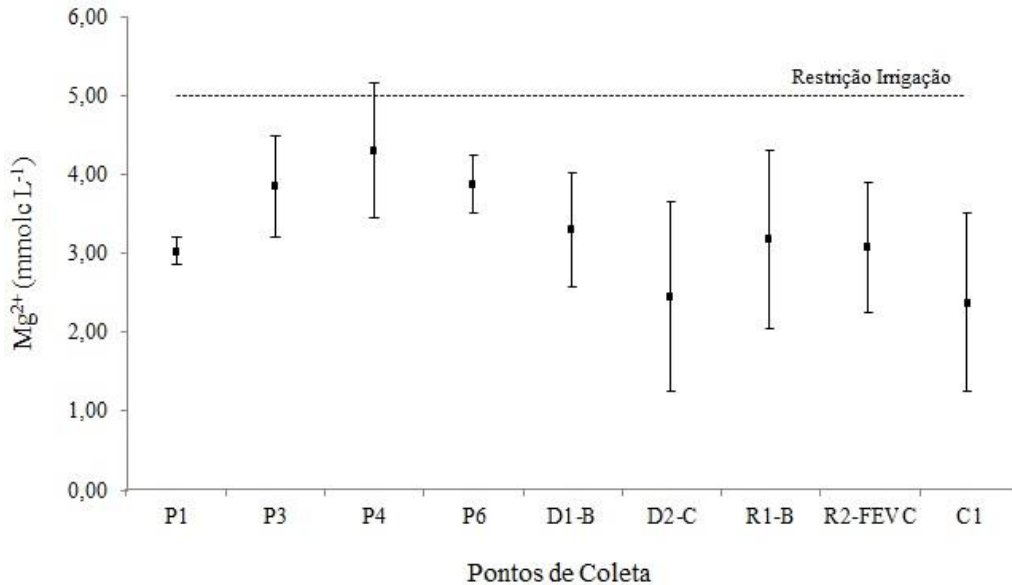
Médias seguidas de mesma letra, dentro de cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Autor (2015).

A variabilidade espacial dos valores médios dos parâmetros de qualidade da água monitorados para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste (setembro/13 a março/15), são apresentados nas Figuras 31 a 40, considerando os valores de restrição de irrigação conforme Ayers e Westcot (1999).

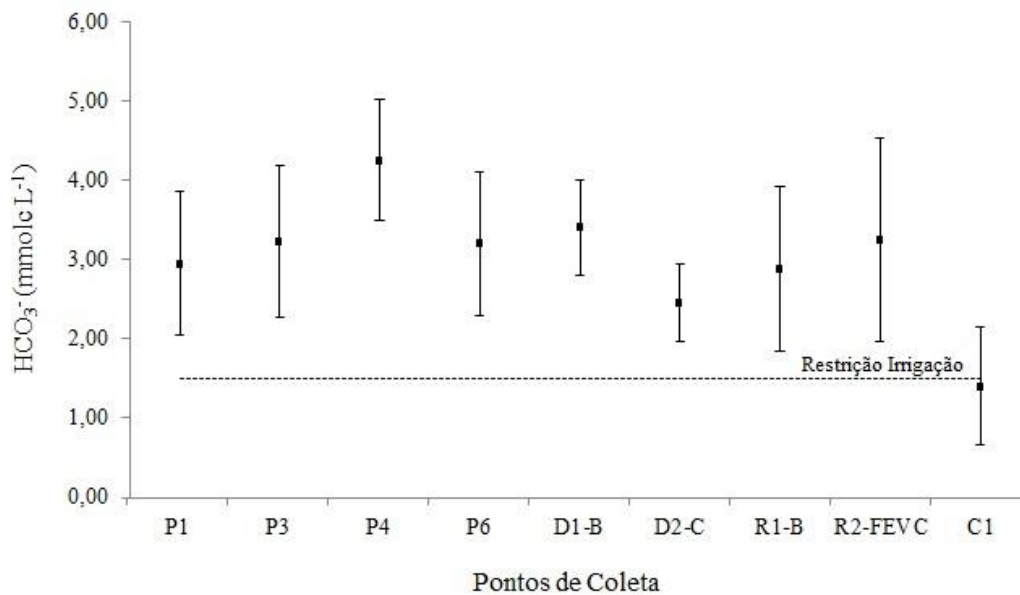
Os parâmetros magnésio e bicarbonato apresentaram comportamento semelhante quanto à variabilidade dos valores entre os pontos de amostragem, apresentando menor valor para água proveniente do canal de irrigação e maior valor para poço raso tubular (P4), comportamento que pode ser atribuído ao tipo de solo da região, promovendo o carreamento e acúmulo desses íons nas águas subterrâneas.

Figura 31 – Variabilidade espacial dos valores médios do magnésio na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2015).

Figura 32 – Variabilidade espacial dos valores médios do bicarbonato na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

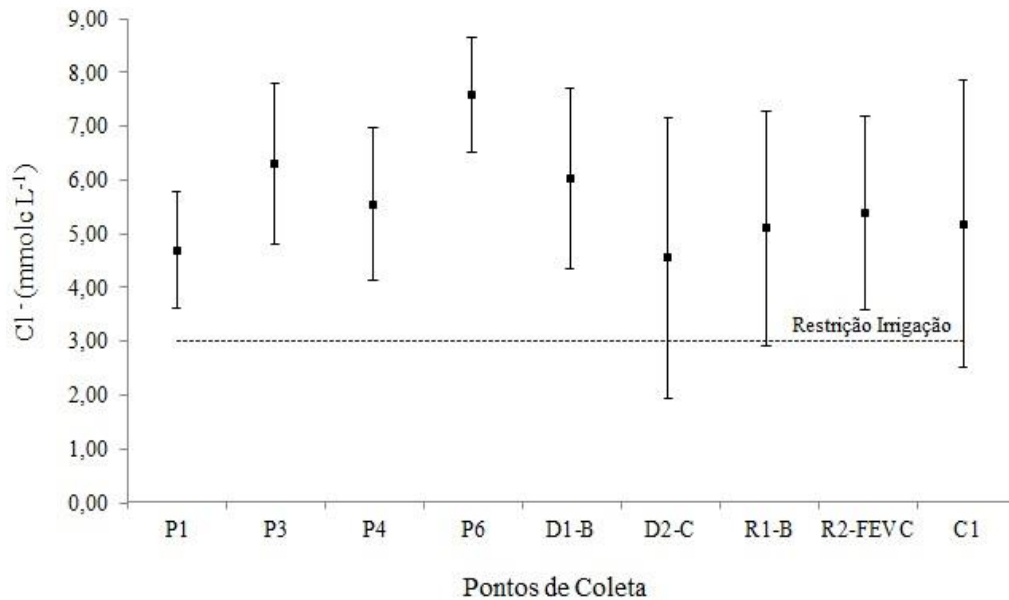


Fonte: Autor (2015).

Os valores médios do bicarbonato, sempre foram inferiores aos do cloreto (Figura 33) confirmando os resultados encontrados por Suassuna e Audry (1995), estudando a qualidade da água para irrigação no Nordeste brasileiro (PE, CE, RN e PB), onde mostraram que águas com CE superior a  $0,50 \text{ dS m}^{-1}$  apresentam teores de bicarbonato menores que os de cloreto. Os valores médios encontrados ao longo dos pontos de coleta no Perímetro Irrigado

Curu Pentecoste para o  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{Cl}^-$  expressam segundo Ayers e Westcot (1999) um grau de restrição ligeira a moderada para o uso na irrigação (irrigação por aspersão).

Figura 33 – Variabilidade espacial dos valores médios do cloreto na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

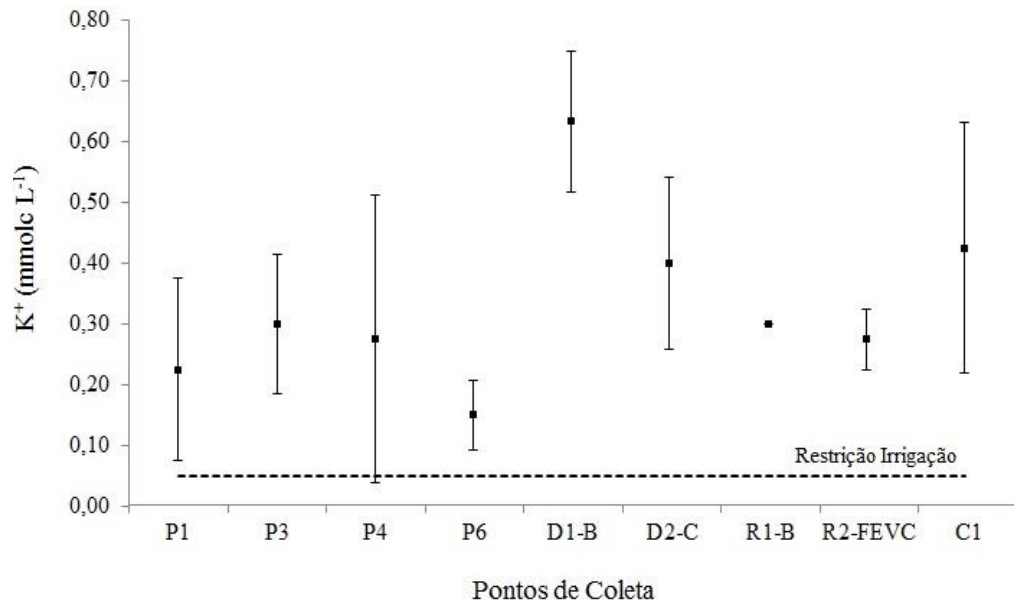


Fonte: Autor (2015).

Em relação à concentração do potássio, os maiores valores deste íon foram encontrados nos drenos coletores e no canal de irrigação (FIGURA 34). Araújo (2014), ao avaliar a qualidade da água proveniente do escoamento da irrigação por superfície no mesmo perímetro irrigado, verificou elevado carreamento de sedimentos e nutrientes na água de irrigação principalmente dos íons potássio e cálcio.

Os valores verificados para esse parâmetro situam-se acima dos valores considerados normais para a irrigação, conforme Ayers e Westcot (1999), que é de  $0,05 \text{ mmolc L}^{-1}$  ( $2,0 \text{ mg L}^{-1}$ ). Cruz (2001), em estudos sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas do Distrito de Irrigação Jaguaribe Apodi-CE, observou que os valores mínimos registrados para o mesmo parâmetro durante os doze meses de coleta se encontravam acima dos níveis considerados normais para água de irrigação.

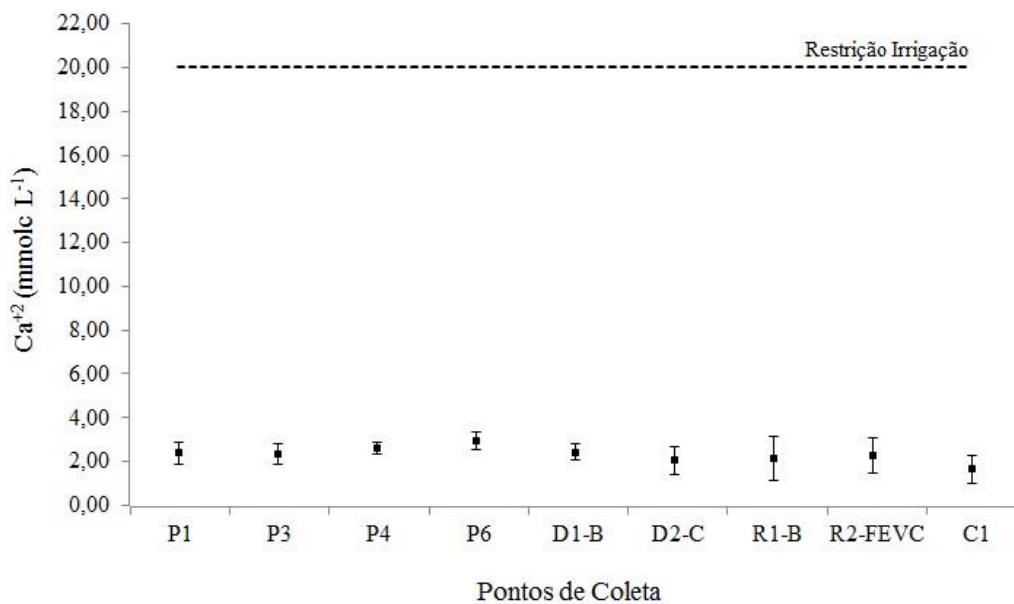
Figura 34 – Variabilidade espacial dos valores médios do potássio na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2015).

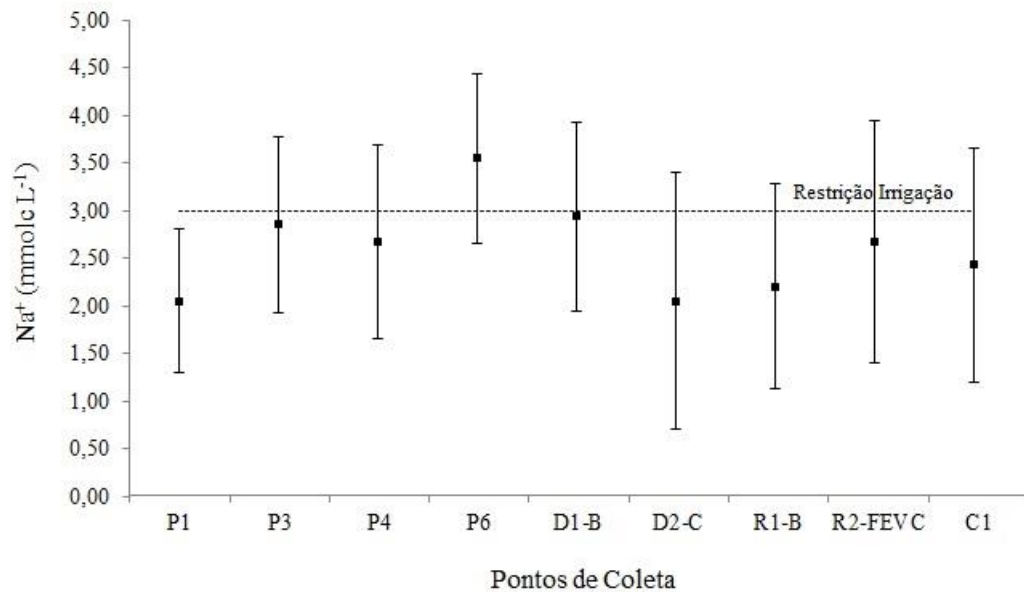
Os parâmetros cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), pH e RAS não apresentaram restrições com relação ao uso para irrigação, exceção do poço raso (P6) que apresentou restrição moderada quanto ao íon sódio (FIGURAS 35 a 38).

Figura 35 – Variabilidade espacial dos valores médios do cálcio na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



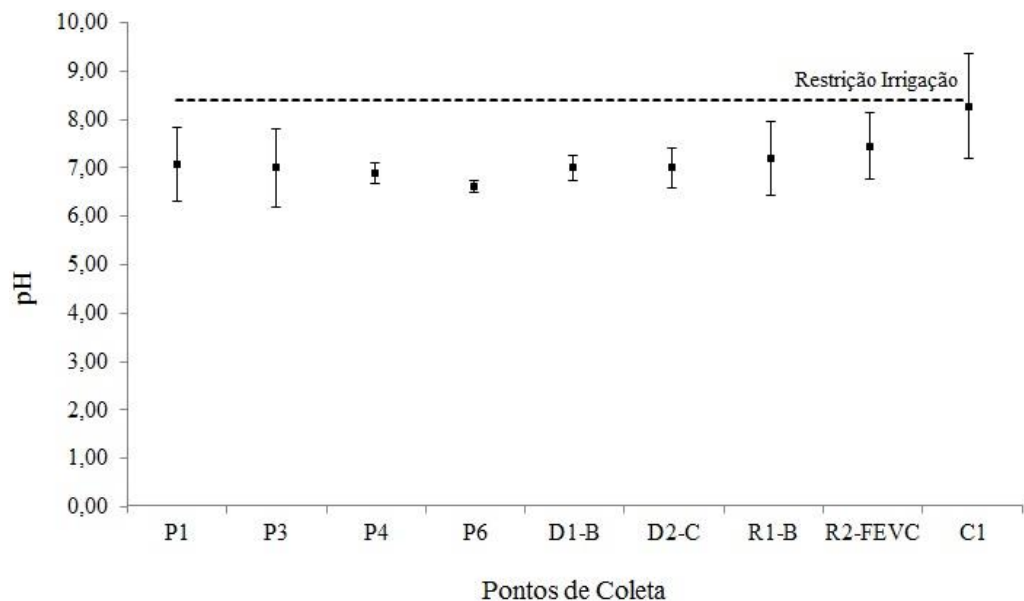
Fonte: Autor (2015).

Figura 36 – Variabilidade espacial dos valores médios do sódio na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2015).

Figura 37 – Variabilidade espacial dos valores médios do pH na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

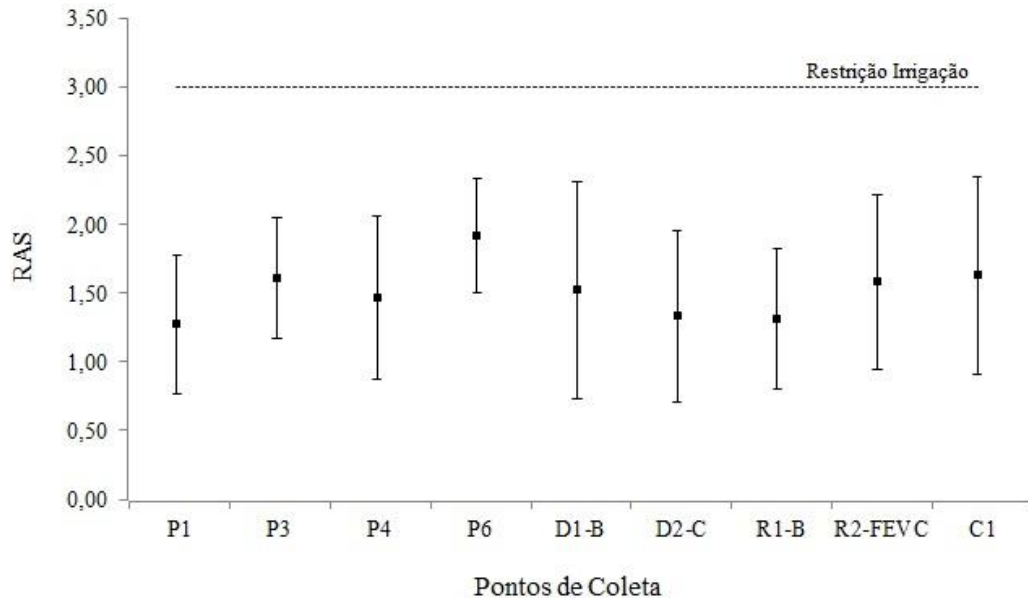


Fonte: Autor (2015).

As águas das diferentes fontes hídricas monitoradas no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste apresentaram risco de sodicidade baixo, estando classificadas como S1, segundo a classificação de Richards (1954). São águas que apresentam perigo baixo de sodificação, podendo ser utilizada para irrigação da maioria dos solos (SANTOS, 2000). Observa-se ainda que os valores de cálcio praticamente permanecem constantes ao longo dos pontos de coleta,

reforçando a hipótese de maiores valores da RAS em virtude de incrementos nos valores do sódio.

Figura 38 – Variabilidade espacial dos valores médios da RAS na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2015).

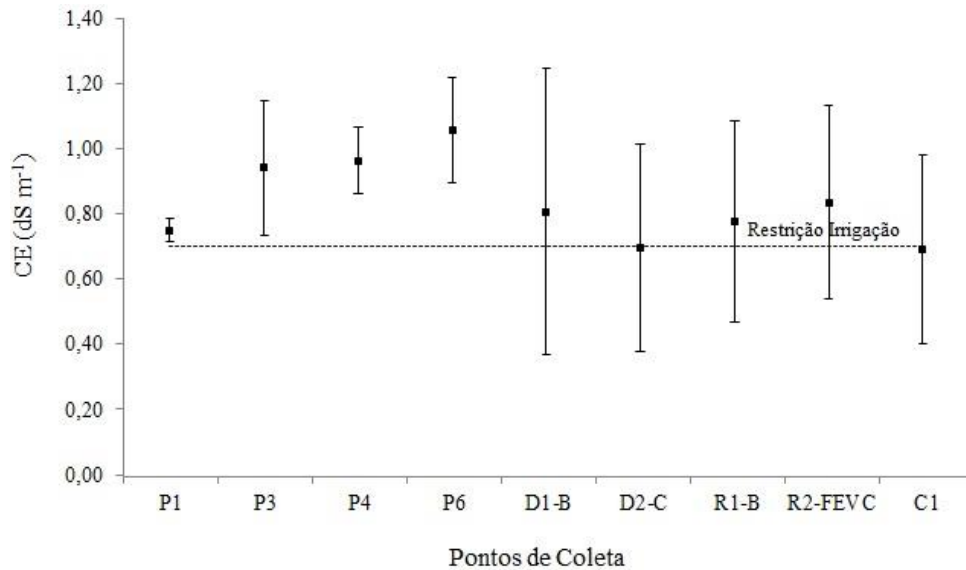
A condutividade elétrica constitui um bom indicador da quantidade total de sais na água. O seu grau de importância nas águas de irrigação está relacionado à correlação entre condutividade e quantidade de sais, em que o acúmulo destes no solo tem efeitos na diminuição dos rendimentos das culturas (BASTOS, 2003).

A variação dos valores médios da CE para os diferentes pontos de coleta podem ser vistos na Figura 39. Observa-se o efeito acumulativo dos sais totais nas águas, principalmente dos poços rasos, em razão da percolação dos sais provenientes das áreas irrigadas. De acordo com Ayers e Westcot (1999), os valores registrados apresentam restrição ligeira quanto ao uso. Quanto à classificação das águas proposta por Richards (1954), os pontos analisados apresentam variação de classe entre C2 e C3, com médio e alto risco de salinização, respectivamente.

Rodrigues *et al.* (2005), avaliando a condutividade elétrica e os níveis do íon sódio no lençol freático do Baixo Acaraú, observaram que em dois poços estudados, os valores deste parâmetro eram superiores a  $2,50 \text{ dS m}^{-1}$ .



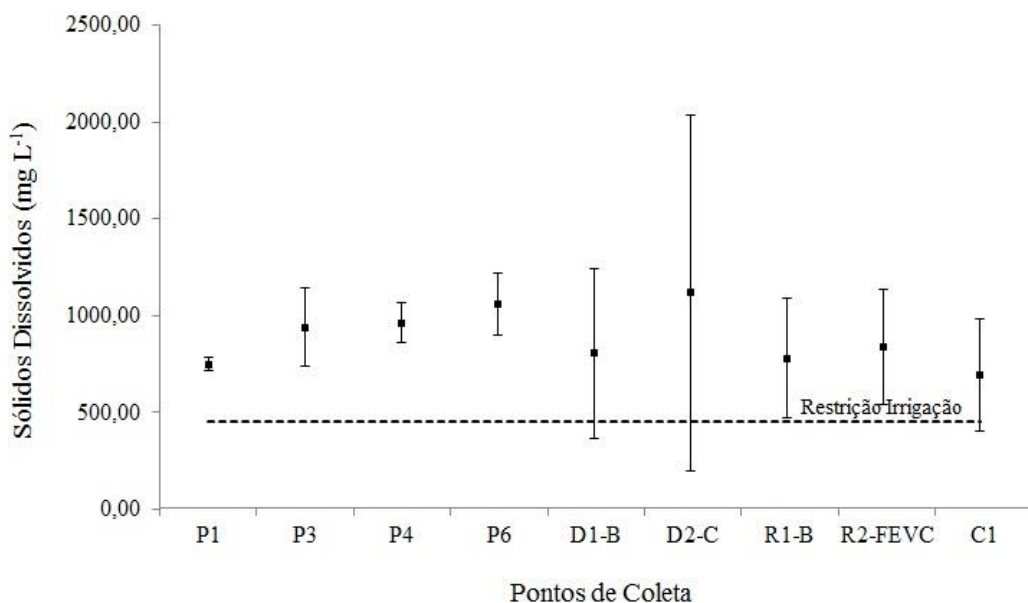
Figura 39 – Variabilidade espacial dos valores médios da condutividade elétrica na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2015).

Os sólidos dissolvidos expressam a concentração total de sais solúveis na água sendo, portanto, um indicador importante quanto à sua limitação para o emprego na irrigação (CRUZ, 2001). Os sólidos dissolvidos apresentaram valores variando de 692,5 a 1120 mg L<sup>-1</sup>, apresentando segundo Ayers e Westcot (1999), grau de restrição de uso moderado quanto à influência da qualidade da água no surgimento de problemas de obstrução em sistemas de irrigação localizada.

Figura 40 – Variabilidade espacial dos valores médios dos sólidos dissolvidos na água para os diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste



Fonte: Autor (2015).

#### 4.4.2 Avaliação temporal dos pontos de amostragem

Os valores de coeficiente de variação (CV) dos parâmetros estudados, ao longo do tempo, para cada ponto de amostragem podem ser vistos na Tabela 34.

Tabela 34 – Coeficiente de variação (%) temporal para os parâmetros de qualidade da água nos diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

Íons	Pontos de coleta								
	P1	P3	P4	P6	D1-B	D2-C	R1-B	R2-FEVC	C1
Ca <sup>+2</sup>	22	19	10	14	14	31	48	36	40
Mg <sup>+2</sup>	6	17	20	9	22	49	35	27	48
Na <sup>+</sup>	37	33	38	25	34	66	49	48	51
K <sup>+</sup>	67	38	86	38	18	35	0	18	49
Cl <sup>-</sup>	23	24	26	14	28	58	43	33	52
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	31	30	18	28	18	20	36	39	53
SD	5	22	11	15	54	82	40	36	42
CE	5	22	11	15	54	46	40	36	42
RAS	40	27	41	22	52	47	39	40	44
pH	11	12	3	2	4	6	11	9	13

Fonte: Autor (2015).

De uma maneira geral observam-se valores altos para os coeficientes de variação, com destaque para os parâmetros sódio, RAS e potássio. Os pontos de coleta que apresentaram maiores coeficientes de variação foram o dreno (Setor C) e canal de irrigação. Esses altos valores encontrados demonstram uma forte variabilidade dos dados coletados, indicando que durante todo o período de coleta, os parâmetros analisados tiveram forte variação de valores, sugerindo que além do fator espacial, o fator temporal influencia as variáveis estudadas.

Os valores médios para os parâmetros monitorados nos diferentes pontos de coleta do perímetro irrigado e nos períodos analisados, seco e chuvoso, podem ser vistos na Figura 41. Observa-se que de maneira geral, os valores médios obtidos no período seco foram superiores ao período chuvoso, fato que pode ser justificado pela diminuição das cargas hidráulicas e elevadas taxas de evaporação registradas principalmente nos meses mais quentes da região.

Estes resultados corroboram ao estudo realizado por Eloi *et al.* (2014) que monitorando a sazonalidade na qualidade da água de irrigação em açudes da bacia do Rio Acaraú, Ceará, comprovou que as condições climáticas predominantes na região favoreceram para que as águas apresentassem maior risco de salinidade e sodicidade ao longo do ano no período de temperaturas mais elevadas, ou seja, período seco.

Parron *et al.* (2007), ao avaliar a qualidade da água na bacia do Rio Preto no Médio São Francisco, em regiões irrigadas, verificaram que em épocas de seca a concentração de nutrientes tende a ser maior em virtude da baixa pluviosidade e altas taxas de evaporação, o que ocasiona um menor volume de água nos cursos d'água acarretando maior concentração dos nutrientes. Vanzela (2004) também verificou que em épocas de seca, com exceção dos sólidos suspensos e oxigênio dissolvido, houve uma diminuição na qualidade de água da microbacia do córrego Três Barras em São Paulo.

Não obstante, Frota Júnior (2006) analisando a qualidade das águas superficiais da bacia do Rio Curu obteve resultados distintos quanto à variabilidade temporal dos parâmetros monitorados, apresentando menor qualidade de água para o período chuvoso, em virtude principalmente da lixiviação e “arraste” de partículas oriundas do solo pelas chuvas.

Estudos desenvolvidos por Vieira *et al.* (2005), na região do semiárido paraibano, observaram que a diminuição ou aumento da concentração dos nutrientes varia de acordo com o regime de chuva da região.

Figura 41 – Variabilidade temporal dos valores médios dos parâmetros de qualidade da água nos diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, período seco e chuvoso (setembro/13 a março/15)

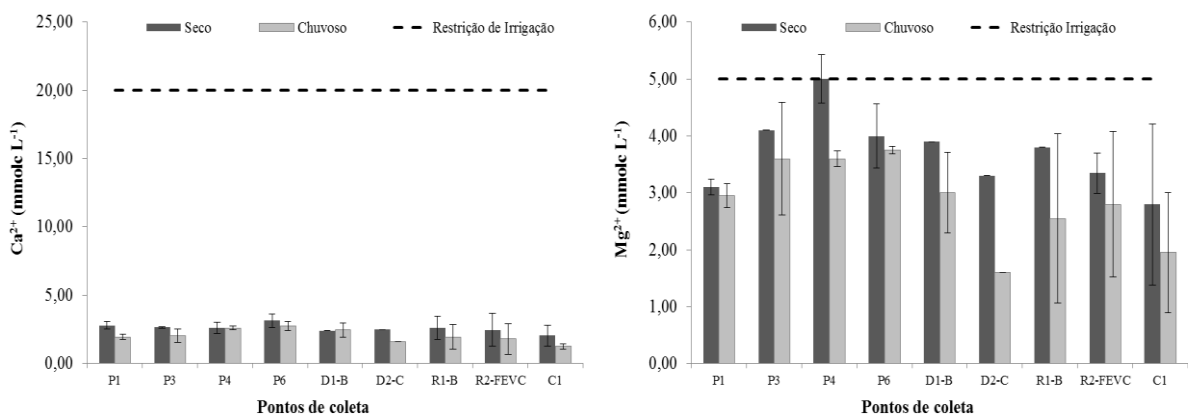
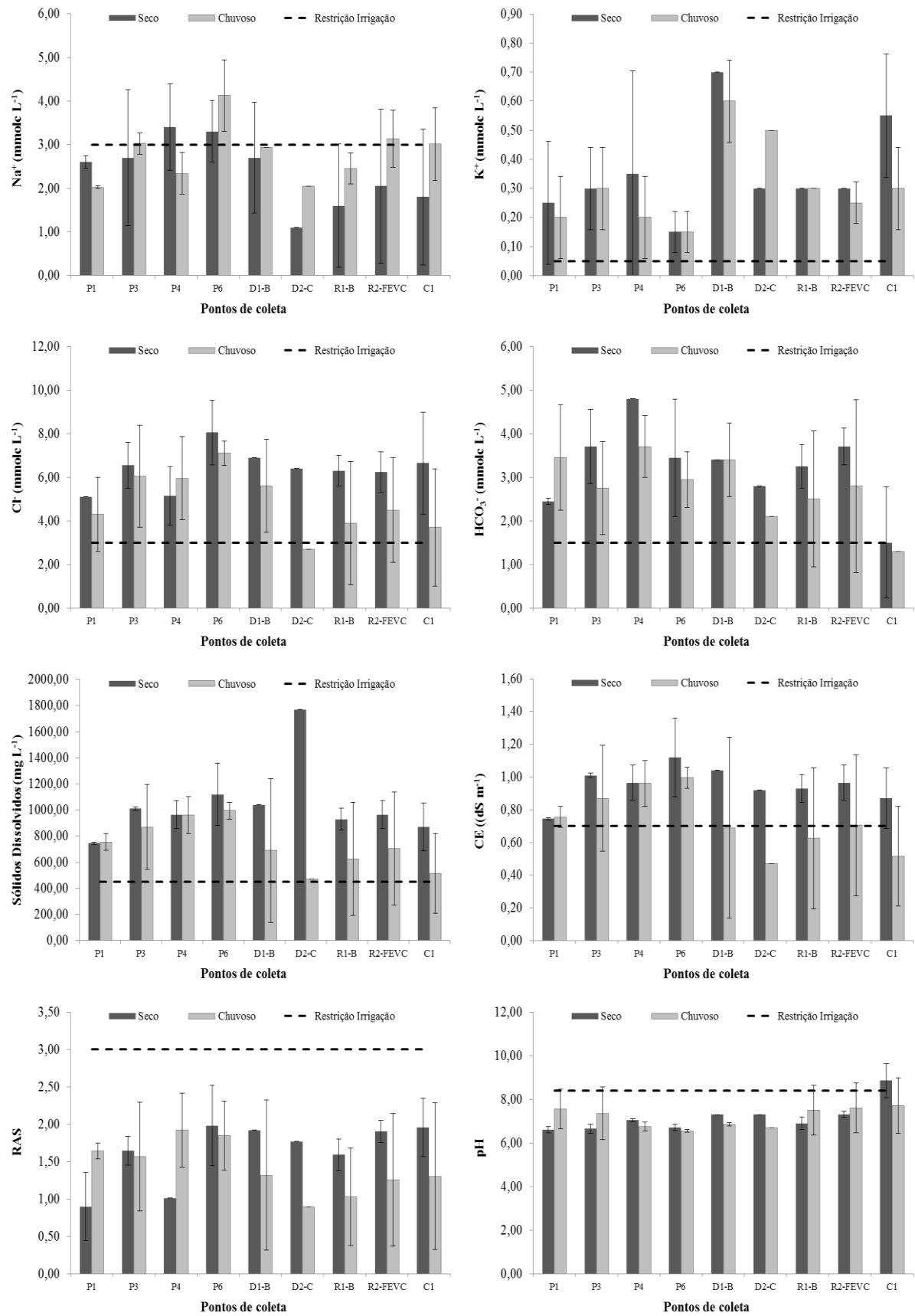
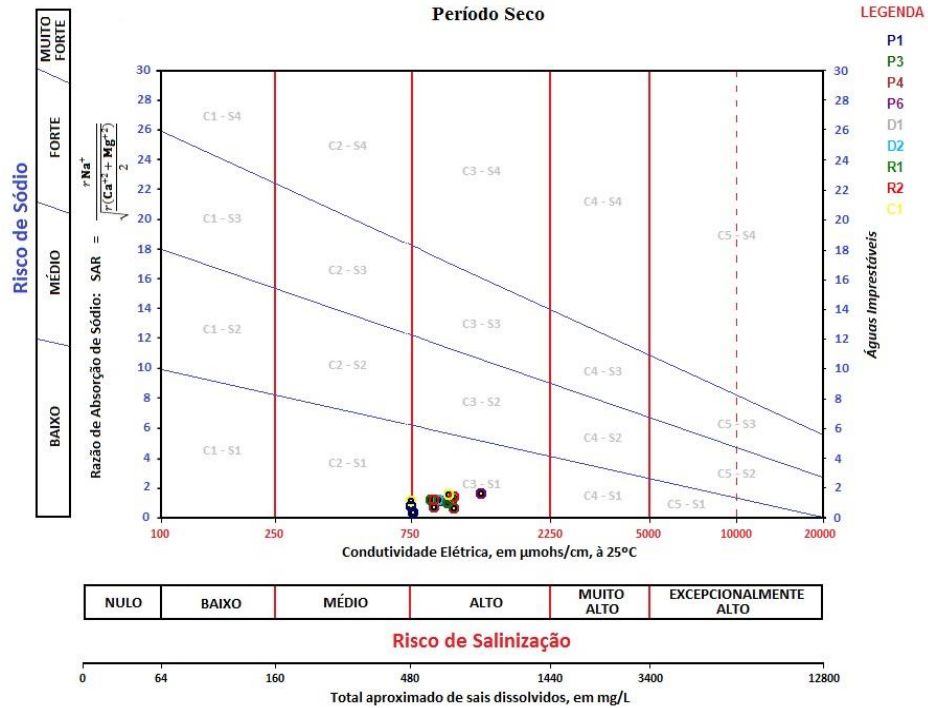


Figura 42 – Continuação



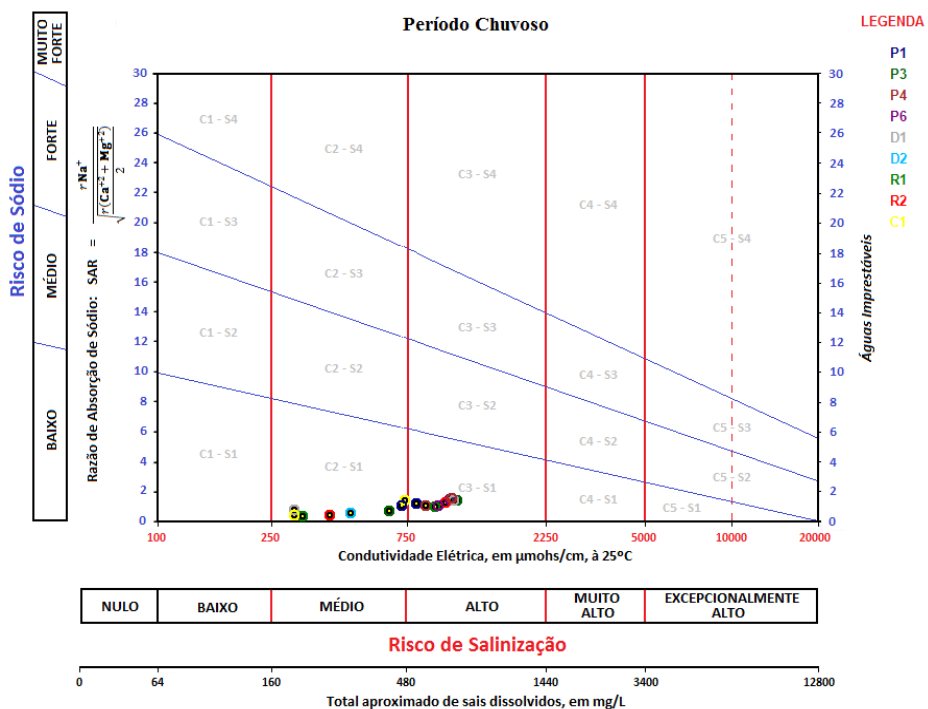
Fonte: Autor (2015).

Figura 43 – Diagrama de classificação das águas de irrigação segundo nos diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, período seco (setembro/13 e setembro/14)



\*Classificação da água segundo USSL (Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos)/Programa Qualigraf. Fonte: Autor (2015).

Figura 44 – Diagrama de classificação das águas de irrigação nos diferentes pontos de coleta no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, período chuvoso (março/14 e março/15)



\*Classificação da água segundo USSL (Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos)/Programa Qualigraf. Fonte: Autor (2015).

#### 4.4.3 Classificação microbiológica em águas do Rio Curu

Os resultados das análises microbiológicas em dois trechos do Rio Curu podem ser vistos na Tabela 35. Nas amostras não foram realizadas determinações de coliformes termotolerantes, no entanto a Resolução N°357, de 17 de março de 2005 do Conama, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011, recomenda a utilização em seu lugar, do parâmetro *Escherichia Coli* para determinar sua classificação.

Tabela 35 – Parâmetros microbiológicos para avaliação da qualidade da água

Parâmetros analisados	Pontos de coleta	
	R1-Serrota	R2-FEVC
Coliformes Totais (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	1,1 x 10 <sup>4</sup>	1,2 x 10 <sup>2</sup>
<i>Escherichia Coli</i> (NMP 100 mL <sup>-1</sup> )	9,3 x 10	2,7 x 10

Fonte: Autor (2015).

As amostras foram classificadas como água de classe I, apresentando valores que não excediam o limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros. Embora não apresente restrição ao uso, observa-se que os valores verificados são bem superiores no trecho do rio localizado próximo ao Distrito da Serrota (Município de Pentecoste-CE), decorrente do depósito de efluentes tratados no Rio Curu realizado por uma estação de tratamento localizada próximo ao ponto de coleta da água (FIGURA 44).

Carvalho e Frinhani (2010), ao avaliar a qualidade da água do Rio Tigre, em áreas urbanas, rurais e de nascente, quanto aos parâmetros sólidos totais e dissolvidos, coliformes totais e termotolerantes, concluíram que os estados mais degradados do curso d'água ocorreram em regiões urbanizadas, principalmente em decorrência do lançamento de esgotos.

Figura 45 – Estação de tratamento de efluentes localizada no Distrito da Serrota, local próximo ao ponto de coleta (R1)



Fonte: Autor (2015).

## 5 CONCLUSÃO

Os dados de produtividade da água revelam que os planos de cultivo analisados associados às alternativas de fontes hídricas provenientes de poço raso tubular e de reúso do excesso da irrigação por superfície em sistemas localizados, se mostram bem mais atrativos do ponto de vista ambiental e econômico que o cultivo tradicional da bananeira irrigada por sulcos nas condições do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Em todos os cenários analisados verifica-se que no fluxo de caixa as receitas passam a superar os custos para períodos inferiores há dois anos, e que as taxas internas de retorno são sempre superiores ao dobro da taxa interna correspondente ao cultivo tradicional da bananeira.

A capacidade de suporte dos poços rasos tubulares destinados à irrigação no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, mesmo em um cenário caracterizado como de escassez hídrica, revela que a exploração desse recurso hídrico subterrâneo na região se mostraram como alternativa viável para irrigação de áreas correspondentes aos lotes de 4,0 hectares em condições de demanda livre.

A qualidade das fontes hídricas no perímetro irrigado apresentou de modo geral grau moderado de restrição ao uso, apresentando qualidade de água inferior no período seco, com maiores concentrações de sais devido à redução nos níveis hidráulicos e elevadas taxas de evaporação registradas no período.



## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A. **Quantificação do custo e responsabilidade legal pela recuperação do passive ambiental de solos degradados por sais no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, Ceará.** 83f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015.
- ALBUQUERQUE, J. A.; MONTE, F. S. S.; PAULA, L. A. M. Avaliação do programa transferência da gestão de perímetros de irrigação na percepção dos irrigantes do projeto Morada Nova. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 782-798, 2010.
- ALI, M. H.; HOQUE, M. R.; HASSAN, A. A.; KHAIR, M. A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity, and economic returns of wheat. **Agricultural Water Management**, v.92, n.1, p.151-162, 2007.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FRIZZONE, J. A.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RODRIGUES, B. H. N. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.36, n.2, p. 301-305, 2001.
- ARAÚJO, D. F. **Medida da erosão na irrigação por sulcos com vistas à conservação de água e solo.** 113f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.
- ARAÚJO, J. L. P.; CORREIA, R. C. **Análise dos custos de produção e da rentabilidade do sistema típico de produção da abóbora na região do Submédio São Francisco.** In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO, 2010, São Luís. Agricultura familiar: crise alimentar e mudanças climáticas globais; anais. São Luís: UEMA: Embrapa, 2010.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** 218p. Campina Grande: UFPB, (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 29), 1991.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** 153p. 2.ed. Campina Grande: UFPB, (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 29), 1999.
- AZEVEDO FILHO, A. J. B. V. **Elementos de matemática financeira e análise de projetos de investimento.** Piracicaba: ESALQ-USP. Série Didática nº 109. 92p. 1995.
- BANKS, D. Optimal orientation of water-supply boreholes in fractured aquifers. **Ground Water**, v. 30, n. 6, p. 895-900, 1992.
- BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura: PROSAB.** 267 f. 2003.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Brasil: uma potência regional na economia-mundo.** 4ª Edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil; 2003.

BERNARDI, C. C. **Reúso de água para Irrigação**. 52f. Monografia (PósGraduação em nível lato sensu em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada), ISEA-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL. Brasília/Distrito Federal, 2003.

BONACCINI, L. A. **A nova empresa rural**. Cuiabá: Sebrae-MT, 2000. 141p.

BOS, M.G.; MURRAY-RUST, D.H.; MERREY, D.J.; JOHNSON, H.G.; SNELLEN, W.B. Methodologies for assessing performance of irrigation and drainage management. **Irrigation and Drainage Systems**, New York, v. 5, p. 231-261, 1994.

BOUMANS, J. H.; VAN HOORN, J. W.; KRUSEMAN, G. P.; TANWAR, B. S. Water table control, reuse and disposal, of drainage water in Haryana. **Agricultural Water Management**. v. 14, p. 537 - 545, 1988.

BRASIL. **Lei nº 10.204**, de 22 de fevereiro de 2001. Altera a Lei nº 4.229, de 1º de junho de 1963, autoriza a doação de bens e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/LEIS\\_2001/L10204.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10204.htm)>. Acesso em: 28 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/principal/legislacao/leis>>. Acesso em: 28 maio 2013.

\_\_\_\_\_. **Ministério da Integração Nacional**. A irrigação no Brasil: situação e diretrizes. Brasília: IICA, 2008, 132p.

\_\_\_\_\_. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. Brasília: Congresso Nacional, 2005.

BREGA FILHO, D. B.; MANCUSO, P. C. S. **Conceito de reúso de água**. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Ed.). Reúso de Água. Barueri, São Paulo: Manole, 2003.

BRITO, L. T.; SRINIVASAN, V. S.; SILVA, A. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, O. C.; HERMES, L. C. Influência das atividades antrópicas na qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Salitre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 596-602, 2005.

BURT, C. M., O'NEILL, B. P. **Drip and furrow on processing tomato - field performance**. In: 28th Annual Irrigation Assoc. Technical Conference, San Diego, CA, Dec. 9, 2007.

BURTE, J. D. P. **Os pequenos aquíferos aluviais nas áreas cristalinas semi-áridas: funcionamento e estratégias de gestão. Estudo de caso no Nordeste brasileiro**. 287f. Tese – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2008.

BURTE, J. D. P.; COUDRAIN, A.; FRISCHKORN, H.; CHAFFAUT, I.; KOSUTH, P. Human impacts on components of hydrological balance in an alluvial aquifer in the semiarid Northeast, Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v.50, p.95-110, 2005.

BURTE, J. D. P.; SCHRADER, G. O. **Relatório parcial das atividades – Projeto Pingo D'água**, Municipal de Quixeramobim – CE, 1999.

CARVALHO, E .F.; FRINHANI, E. M. D. Monitoramento da qualidade das águas do rio Tigre, Joaçaba, SC. **Unoesc & Ciência Aect**, Joaçaba.v.1, n.1, p.49-58, jan./fev., 2010.

CASTRO, R. P.; COSTA, R. N. T.; SILVA, L. A. C.; GOMES FILHO, R. R. Modelos de decisão para otimização econômica do uso da água em áreas irrigadas da Fazenda Experimental Vale do Curu, Pentecoste – CE. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n.3, p. 377-392, 2007.

CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, campinas, v.9, n.3, p.263-266, 1985.

CETREDE. **Agricultores Familiares dos Perímetros Irrigados Públicos Federais nos Estados do CE, PI, MA, PB, PE e BA**. 4º Relatório de andamento. Centro de Treinamento e Desenvolvimento – ATER. Fortaleza, 2009. 236p.

CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. **A questão da água no semiárido brasileiro**. In: Bicudo, C.E. M; Tundisi, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B.. (Org.). **Águas do Brasil análises estratégicas**. 1ed.São Paulo: Instituto de Botânica, v. 1, p. 81-91, 2010.

CIRILO, J.A. **Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido brasileiro**. Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 63, p. 61-82, 2008.

COGERH. **Portal hidrológico – Níveis dos açudes 2015. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 2015**. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/>>. Acesso em: 28 mar. 2015.

COMPANHIA TECNOLÓGICA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Relatório de qualidades das águas interiores do estado de São Paulo, 2004**. São Paulo, 297 p., CETESB, 2005.

CONAMA. **Resolução n. 357**, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 2005.

\_\_\_\_\_. **Resolução n. 410**, de 04 de maio de 2009, Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 2009.

\_\_\_\_\_. **Resolução n. 430**, de 13 de maio de 2011, dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, alterando parcialmente e complementando a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 2011.

CONSELHO PARA CIENCIA E TECNOLOGIA NA AGRICULTURA. Aplicação dos sistemas e exame dos avanços na irrigação. **Agribusiness WorldWide**, Iowa, v. 11, n. 6, p. 20-30, 1989.

COOLEY, H.; CHRISTIAN-SMITH, J. G.; PETER, H. **More with Less: Agricultural Water Conservation and Efficiency in California**. Pacific Institute. 2008.

CPRM. **Atlas dos recursos hídricos subterrâneos do Ceará**. (2000) Fortaleza: CPRM. ATLAS dos recursos hídricos subterrâneos do Ceará: Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea no Estado do Ceará. Fortaleza: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2000. 1 CD-ROM.

CPRM. **Cadastro de poços no Brasil**. 2001.

CRUZ, M. A. S.; RESENDE, R. S.; AMORIM, J. R. A. Análise da distribuição espacial de parâmetros de qualidade das águas subterrâneas para irrigação no semi-árido do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.15, p.105-113, 2010.

CRUZ, M. G. M. **Avaliação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas do distrito de irrigação Jaguaribe-Apodi**. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2001.

CRUZ, M. R. O.; MAGALHÃES, M. M. **Rotação de Culturas e Efeito sobre os Custos na Reforma de Canavial na Região da Alta Paulista**. Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, p. 92-109, 2013.

CUNHA, S. B. **Bacias Hidrográficas**. In: Cunha, S. B.; Guerra, A. J. T (org.). Geomorfologia do Brasil. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p.229-276. 2001.

CUSTÓDIO, J. A. L. **Análise da cadeia produtiva da banana no Estado do Ceará**. Dissertação de Mestrado. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará - UFC, 2001.

DAVIES, S. N.; DEWIEST, R. J. M. **Water Quality**. In: DAVIES, S. N.; DEWIEST, R. J. M. Hydrogeology. New York, John Wiley & Sons, Chapter 4, p.96 – 128, 1966.

DAVIS, S. N.; TURK, L. J. Optimum depth of wells in crystalline rocks. **Ground Water**, EUA, v. 22, p. 6-11, 1964.

DINAR, A. Economic factors and opportunities as determinants of water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, New York, v. 14, p. 47-52, 1993.

DNOCS. Situação atual dos principais açudes do DNOCS no Ceará em 2013. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Disponível em: <[http://www.dnocs.gov.br/php/comunicacao/noticias.php?f\\_registro=2873&f\\_opcao=imprimir&p\\_view=short&f\\_header=1](http://www.dnocs.gov.br/php/comunicacao/noticias.php?f_registro=2873&f_opcao=imprimir&p_view=short&f_header=1)>. Acesso em: 01 jun. 2013.

ELOI, W. M.; SALES, M. A. L.; LIRA, J. V.; SALES, M. L. M.; NASCIMENTO, N. V.; SOUZA, J. V. R. SILVA. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação em açudes da Bacia

do Rio Acaraú, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.º. 3, p. 247 - 255, 2014.

FAO. **World Agriculture: Towards 2015-2030**. Rome: FAO, 2002.

FERNANDEZ, J. C.; GARRIDO, R. J. **Economia dos Recursos Hídricos**. EDUFBA, Salvador. 2002. 457p.

FERREIRA, J. A. S. **Finanças Corporativas: conceitos e aplicações**. São Paulo: Pearson/Prentice Hall, 2005.

FIGUEIREDO, M. G.; FRIZZONE, J. A.; PITELLI, M. M.; REZENDE, R. Lâmina ótima de irrigação do feijoeiro, com restrição de água, em função do nível de aversão ao risco do produtor. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.30, p.81-87, 2008.

FRIZZONE, J. A. **Análise de decisão econômica em irrigação**. Piracicaba: ESALQ, 371 p. (Série Didática, 17), 2005.

FRIZZONE, J. A. **Eficiência da irrigação e produtividade da água: possibilidades técnicas e econômicas**. In: XI Congresso Latinoamericano y Del caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA 2010 e XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, 2010, Vitória. Anais... Vitória: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola – SBEA, 2010. 46 f.

FROTA JÚNIOR, J. I. **Variabilidade espacial e temporal da qualidade das águas no trecho perenizado da bacia hidrográfica do Curu, Ceará**. 101f. Dissertação – Universidade Federal do Ceará, UFC, Fortaleza, 2006.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dray areas. **Agricultural Water Management**, v.96, p.1275 – 1284, 2009.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

GONDIM, R. S.; CASTRO, M. A. H.; EVANGELISTA, S. R. M.; TEIXEIRA, A. S.; FUCK JÚNIOR, S. C. F. Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.12, p. 1657-1664, 2008.

GRATTAN, S.R.; SHENNAN, C.; MAY, D.W.; MITCHELL, J.P.; BURAU, R.G. Use of drainage water for irrigation of melons and tomatoes. **Calif. Agric.** v. 41, p. 27–29, 1987.

GUIMARÃES, P. H. S. **Comparação econômica entre produção de fêmeas F1 Holandês X Gir e alternativas de produção de gado de corte por meio de simulação**. 49 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

HESPANHOL, H. Potencial de reúso de água no Brasil. Agricultura. Indústria. Municipais. Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.4, p.75-95, 2002.

HOFFMANN, R.; SERRANO, O.; NEVES, E. M.; THAME, A. C. M.; ENGLER, J. J. C. **Administração da empresa agrícola**. 7.ed. São Paulo: Pioneira, 1992. 325p.

JACOB, C. E. Drawdown test to determine effective radius of artesian well. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, v.112, p.1047-1064. 1947.

JACOMINI, P. K. T. **A nova classificação Brasileira de solos**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, v. 5 e 6, p.161-179, 2008- 2009. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/19350/1/Jacomine.pdf>> Acesso em: 23 set. 2013.

JALOTA, S. K.; SOOD, A.; CHAHAL, G. B. S.; CHOUDHURY, B. U. Crop water productivity of cotton–wheat system as influenced by deficit irrigation, soil texture and precipitation. **Agricultural Water Management**, v.84, n.137–146, 2006.

KOKORITE, I.; STALNACKE, P.; GRIMVALL, A.; LIBISERLLER, C.; LAZNIK, M. Trends in nutrient concentrations in Latvian rivers and the response to the dramatic change in agriculture. **Journal of Hydrology**. v. 283, p. 184-205, 2003.

LAVIGNE-DELVILLE, P. **Logiques paysannes d'exploitation des bas-fonds en Afrique soudano-sahélienne**. In: N. Ahmadi, B. Teme (Eds.), CIRAD, p. 19, 1998.

LIMA, G. P. **A produção do território no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste**. 185p. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza-CE, 2005.

LIMA, S. C. R. V. **Análise do desempenho da irrigação em um projeto hidroagrícola no Sul da Espanha utilizando Sistema de Informação Geográfica e avaliação sócio-econômica**. 103 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

LOPES, M. A.; CARVALHO, F. M. **Custo de produção do gado de corte**. Lavras: UFLA, 2002. 47 p.

LUCAS, A. A. T. **Impacto da irrigação da bacia hidrográfica do ribeirão dos Marins**. 102f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LYERLY, P. J.; LONGENECKER, D. E. **Salinity control in irrigation agriculture**. College station, Texas. Agricultural Experiment Station. Bulletin, 876, 19f, 1962.

LYRA; G. B.; PONCIANO, N. J.; GOLYNSKI, A. **Viabilidade econômica e de risco na cultura do mamão (*carica papaya L.*): um estudo de caso no norte do Espírito Santo**. In: XLIV Congresso da Sober, Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, Fortaleza, 23 a 27 jul. 2006.

MARENGO, J. **Aquecimento global e as conseqüências das mudanças climáticas no Nordeste do Brasil**. CPTEC/INPE, São José dos Campos, SP. 54 p. 2007.

- MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistema Irrigas**. 5 ed. Brasília: Embrapa Hortaliças, 16 p, (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 69), 2009.
- MARQUES, P. A. A. **Modelo computacional para determinação do risco econômico em culturas irrigadas**. 142 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Piracicaba, 2005.
- MEINZEN-DICK, R.; RAJU, K. V. What Affects Organization and Collective Action for Managing Resources? Evidence from Canal Irrigation Systems in India. **World Development**, v. 30, n. 4, p. 649-666, 2002.
- MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural e Sustentável**, Porto Alegre, v. 3, n. 4, p. 33-38, 2002.
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.30-37, 2006.
- MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MACKAY, R.; OLIVEIRA, A. S. C. Dinâmica hidro-salina em aquífero aluvial utilizado para a agricultura irrigada familiar em região semi-árida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, p.85-92, 2003.
- MOREIRA, O. C. **Resposta da cultura da abóbora aos fatores de produção água e adubo nitrogenado com reúso de água da irrigação por sulcos em sistema de irrigação localizada, CE**. 102 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- MOTTA, R. R.; CALÔBA, G. M. **Análise de Investimentos**. São Paulo: Atlas, 2002.
- PARRON, L. M.; RODRIGUES, L. N.; JESUS, W. B.; COSER, T. R. **Variação sazonal de parâmetros físicos químicos da água de reservatórios na bacia hidrográfica do rio Preto, Médio São Francisco**. In: CONGRESSO de ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu. Anais... Caxambu: 2007.
- PAZ, V. P.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, 2000.
- PEREIRA, L. S.; OEWIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 57, p. 175-206, 2002.
- PERRY, C. J. **Quantification and measurement of a minimum set of indicators of the performance of irrigation systems**. Sri Lanka: International Water Management Institute, 27p. 1996.
- PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEN, R. G.; BURT, C. M. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 1517-1524, 2009.

PLAYÁN, E.; MATEOS, L. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 80, p. 100–116, 2006.

PONTES, A. G. V.; GADELHA, D.; FREITAS, B. M. C.; RIGOTTO, R. M.; FERREIRA, M. J. M. Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. **Ciênc. saúde coletiva**, v.18, p.3213-3222, Rio de Janeiro, 2013.

PORTO, M. F. A. **Sistemas de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro**. Tese – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2002.

PRONAF - **Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar**. Cartilha de Acesso ao PRONAF. Saiba como obter crédito para a agricultura familiar. Brasília/DF, 2011.

QUEIROZ, M. M. F.; IOST, C.; GOMES, S. D.; VILAS BOAS, M. A. Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde**, Mossoró, v.5, n.4, p.200-210, 2010.

QUESADO JÚNIOR, N.; CORDEIRO, W.; TEIXEIRA, Z. A. **Qualidade das águas armazenadas nas aluviões e perenizações do rio Banabuiú em Limoeiro do Norte e Morada Nova, Estado do Ceará**. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004, São Luís. Anais... São Luís: ABRH, 2004. 1 CD-ROM.

RAINS, D.W.; GOYAL, S.; WEYRAUCH, R.; LAUCHLI, A. Saline drainage water reuse in a cotton rotation system. **Calif. Agric.** v.41, p. 24–26, 1987.

REBOUÇAS, A. C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Revista do Instituto Estudos Avançados**. USP. v. 11, n.29, p. 127-154, São Paulo, 1997.

RHOADES, J. D.; BINGHAM, P. T.; LETEY, J.; HOFFMAN, G. J.; DEDRICK, A. R.; PINTER, P. J.; REPLOGLE, J. A. Use of saline drainage water for irrigation. Imperial valley study. **Agric. Water Manage.** v. 16, p. 25–36, 1989.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory. Agriculture Handbook, 1954. 160p.

RICHARDS, R. A. Improving crop production on salt affected soils: by breeding or management? **Expl. Agric.** v. 31, p. 395 – 408, 1995.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; AFONSECA, T. G.; LOPES, J. F. B. **Avaliação da condutividade elétrica e dos níveis do íon sódio no lençol freático do Baixo Acaraú, Ceará**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, João Pessoa. Anais... Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.



RODRIGUES, G. S.; IRIAS, L. J. M. **Considerações sobre os Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 7p. (Embrapa Meio Ambiente, Circular técnica 7)

SANTOS, A. F. **Práticas da agricultura familiar, o uso e ocupação do solo e qualidade da água: A bacia hidrográfica do rio pequeno - São José dos Pinhais – PR**. 213 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SANTOS, J. G. R. **A salinidade na agricultura irrigada: teoria e prática**. 171f. Campina Grande-PB, 2000.

SANTOS, M. D. S. **Guia de irrigação como alternativa para sustentabilidade no perímetro irrigado Curu**. 86 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

SANTOS, M. D. S. **Rendimento da abóbora sob dois métodos de irrigação, duas qualidades de água e diferentes níveis de potássio**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SEAGRI. **Projeto "Poços do Sertão"**. Relatório de atividades. Secretaria de Agricultura do estado do Ceará, Fortaleza, 2004.

SEAGRI. **Projeto de construção e aproveitamento de 5.000 poços tubulares rasos em aluviões**. Secretaria da Agricultura Irrigada, Fortaleza, 26f. 2001.

SHARMA, D. P.; RAO, K. V. G. K.; SINGH, K. N.; KUMBHARE, P. S. **Recycling drainage effluent for irrigation**. Proc. National Seminar on Reclamation and Management of Waterlogged Saline Soils, p. 189 - 204, 1995.

SHARMA, D. P.; SINGH, K. N.; RAO, K. V. G. K.; KUMBHARE, P. S. Irrigation of wheat with saline drainage water on a sandy loam soil. **Agricultural Water Management**. v. 19, p. 223 - 233, 1991.

SILVA, T. G. F. DA; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.1, p. 64-71, 2012.

SILVEIRA, R. N. C. M. **Aquíferos aluvionais como suporte à irrigação na Bacia Hidrográfica do Rio Curu, Ceará**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SUASSUNA, J.; AUDRY, P. **A Salinidade das águas disponíveis para a pequena irrigação no sertão nordestino: Caracterização, variação sazonal e limitações de uso**. Recife: CNPq, 1995. 128p.

TEIXEIRA, Z. A.; QUESADO JÚNIOR, N.; OLIVEIRA, G. N. D.; SUCUPIRA, P. A. P.; OLIVEIRA FILHO, R. L. **Monitoramento dos níveis estáticos de poços do Perímetro Irrigado de Morada Nova – Ceará, Brasil.** *In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS/XVI ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS*, 2008, Rio Grande do Norte. Anais... Rio Grande do Norte: ABAS, 2008. 15 f.

VANZELA, L. S. **Qualidade de água para irrigação na microbacia do córrego Três Barras no município de Marinópolis, SP.** 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2004.

VASCONCELOS, M. A. S.; GARCIA, M. E. **Fundamentos de economia.** 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2004.

VAZIFEDOUST, M.; VAN DAM, J. C.; FEDDES, R. A.; FEIZI, M. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. **Agricultural Water Management**, v.95, p.89-102, 2008.

VIEIRA, A C. B.; MARINHO, F. B.; CRISPIM, M. C. **Variação temporal de parâmetros físicos e químicos em três diferentes tipos de ambientes aquáticos do semi-árido paraibano.** *In: Encontro Intercontinental da Natureza*, 2 a 8 de novembro de 2005, Fortaleza. Anais do Encontro Intercontinental da Natureza.

VITTI, G. C.; BOARETTO, A. E. **Fertilizantes fluidos.** *In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE FERTILIZANTES FLUIDOS*, 1994. Piracicaba. Anais... Piracicaba: Potafós. 1994.

WWF. **Modernización de regadíos: un mal negocio para la naturaleza y la sociedad.** WWF/Adena (Madrid, España), 2015. 56p.

ZANATTA, J. C.; SCHIOCCHET, M. A; NADAL, R. **Mandioca consorciada com milho, feijão ou arroz de sequeira no Oeste Catarinense.** Florianópolis: Empresa de Pesquisa Agropecuária e Difusão de Tecnologia de Santa Catarina. 1993. 36 p. (Boletim Técnico).

ZONN, S. V. **Saline (halomorphic) soils.** *In: ZONN, S.V. Tropical and subtropical soil science.* Moscow: Mir Publishers, Chapter 5, pp. 365-379, 1986.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – CUSTOS TOTAIS DE PRODUÇÃO DO CULTIVO DA BANANEIRA IRRIGADA POR SUPERFÍCIE NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU PENTECOSTE (1,0 ha)

Discriminação	Unidade	Vr.Unit R\$	ANO - 1		ANO - 2		ANO - 3		ANO - 4		ANO - 5		ANO - 6	
			Quant	Vr.Total R\$	Quant	Vr.Total R\$	Quant	Vr.TotalR \$	Quant.	Vr.Total R\$	Quant.	Vr.TotalR \$	Quant.	Vr.Total R\$
<b>1. INSUMOS</b>				<b>662,78</b>		<b>662,78</b>		<b>662,78</b>		<b>662,78</b>		<b>662,78</b>		<b>662,78</b>
Ureia	kg	1,76	200	352,00	200	352,00	200	352,00	200	352,00	200	352,00	200	352,00
Superfosfato simples	kg	1,28	150	192,00	150	192,00	150	192,00	150	192,00	150	192,00	150	192,00
Formicida	kg	3,78	1	3,78	1	3,78	1	3,78	1	3,78	1	3,78	1	3,78
Inseticida	kg	25	1	25,00	1	25,00	1	25,00	1	25,00	1	25,00	1	25,00
Fungicida	kg	45	2	90,00	2	90,00	2	90,00	2	90,00	2	90,00	2	90,00
<b>2. MÃO-DE-OBRA VARIÁVEL</b>				<b>1620,00</b>		<b>1620,00</b>		<b>1620,00</b>		<b>1620,00</b>		<b>1620,00</b>		<b>1620,00</b>
Roçagem manual	d/H	20	30	600,00	30	600,00	30	600,00	30	600,00	30	600,00	30	600,00
Capinas manuais	d/H	20	15	300,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00	15	300,00
Pulverização costal	d/H	20	6	120,00	6	120,00	6	120,00	6	120,00	6	120,00	6	120,00
Colheita	d/H	20	30	600,00	30	600,00	30	600,00	30	600,00	30	600,00	30	600,00
<b>3. IRRIGAÇÃO (Sifões)</b>				<b>600,00</b>										
<b>5. TOTAL</b>				<b>2882,78</b>		<b>2282,78</b>		<b>2282,78</b>		<b>2282,78</b>		<b>2282,78</b>		<b>2282,78</b>

**APÊNDICE B – CUSTOS TOTAIS DE PRODUÇÃO DO CULTIVO DO MAMOEIRO IRRIGADO POR SUPERFÍCIE NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU PENTECOSTE (1,0 ha)**

Discriminação	Unidade	Vr.Unit.-R\$	ANO -1		ANO -2		ANO -3	
			Quant.	Vr.Total - R\$	Quant.	Vr.Total - R\$	Quant.	Vr.Total - R\$
<b>1. INSUMOS</b>				<b>4249,56</b>		<b>1693,78</b>		<b>928,78</b>
Sementes	kg	0,5	4000	2000,00				
Adubo orgânico	T	50	5	250,00				
Ureia	kg	1,76	400	704,00	400	704,00	200	352,00
Superfosfato simples	kg	1,28	400	512,00				
Cloreto de Potássio	kg	1,76	100	176,00	100	176,00	50	88,00
Formicida	kg	3,78	2	7,56	1	3,78	1	3,78
Inseticida	kg	25	3	75,00	6	150,00	2	50,00
Fungicida	kg	45	5	225,00	8	360,00	3	135,00
Água	Área	-	-	300,00	-	300,00	-	300,00
Energia Elétrica	kwh	0,27	-	-	-	-	-	-
<b>2. MECANIZAÇÃO</b>				<b>480,00</b>		<b>0,00</b>		<b>0,00</b>
Roçagem	h/M	80	1	80,00				
Gradagem	h/M	80	3	240,00				
Sulcamento	h/M	80	2	160,00				
<b>3. MÃO-DE-OBRA VARIÁVEL</b>				<b>2220,00</b>		<b>2100,00</b>		<b>1180,00</b>
Coveamento/Adubação de fundação	d/H	20	15	300,00		0,00		0,00
Prep.Muda/Plantio/replantio	d/H	20	18	360,00		0,00		0,00
Adubação de cobertura	d/H	20	8	160,00	12	240,00	12	240,00
Capinas manuais	d/H	20	25	500,00	25	500,00	10	200,00
Pulverização costal	d/H	20	10	200,00	20	400,00	12	240,00
Colheita	d/H	20	35	700,00	48	960,00	25	500,00
<b>4. IRRIGAÇÃO (Conj. Sifões)</b>		600		<b>600,00</b>				
<b>5. TOTAL</b>				<b>7549,56</b>		<b>3793,78</b>		<b>2108,78</b>

Obs: No quarto ano ocorre a replantação da cultura para compor o horizonte de seis anos de produção.

**APÊNDICE C – CUSTOS TOTAIS DE PRODUÇÃO DO CULTIVO DO MAMOEIRO IRRIGADO DE FORMA LOCALIZADA COM ÁGUA PROVENIENTE DE REÚSO DO EXCESSO DA IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU PENTECOSTE (1,0 ha)**

Discriminação	Unidade	Vr.Unit.-R\$	ANO -1		ANO -2		ANO -3	
			Quant.	Vr.Total - R\$	Quant.	Vr.Total - R\$	Quant.	Vr.Total - R\$
<b>1. INSUMOS</b>				<b>4432,77</b>		<b>1876,99</b>		<b>1111,99</b>
Sementes	kg	0,5	4000	2000,00				
Adubo orgânico	T	50	5	250,00				
Ureia	kg	1,76	400	704,00	400	704,00	200	352,00
Superfosfato simples	kg	1,28	400	512,00				
Cloreto de Potássio	kg	1,76	100	176,00	100	176,00	50	88,00
Formicida	kg	3,78	2	7,56	1	3,78	1	3,78
Inseticida	kg	25	3	75,00	6	150,00	2	50,00
Fungicida	kg	45	5	225,00	8	360,00	3	135,00
Água	Área	-	-	-	-	-	-	-
Energia Elétrica	kwh	0,27	1790	483,21	1789,68	483,21	1789,68	483,21
<b>2. MECANIZAÇÃO</b>				<b>400,00</b>		<b>0,00</b>		<b>0,00</b>
Roçagem	h/M	80	1	80,00				
Gradagem	h/M	80	3	240,00				
Sulcamento	h/M	80	1	80,00				
<b>3. MÃO-DE-OBRA VARIÁVEL</b>				<b>2220,00</b>		<b>2100,00</b>		<b>1180,00</b>
Coveamento/Adubação de fundação	d/H	20	15	300,00		0,00		0,00
Prep.Muda/Plantio/replatio	d/H	20	18	360,00		0,00		0,00
Adubação de cobertura	d/H	20	8	160,00	12	240,00	12	240,00
Capinas manuais	d/H	20	25	500,00	25	500,00	10	200,00
Pulverização costal	d/H	20	10	200,00	20	400,00	12	240,00
Colheita	d/H	20	35	700,00	48	960,00	25	500,00
<b>4. EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO</b>		4000		<b>4000,00</b>				
<b>5. TOTAL</b>				<b>11052,77</b>		<b>3976,99</b>		<b>2291,99</b>

Obs: No quarto ano ocorre a replantação da cultura para compor o horizonte de seis anos de produção.

**APÊNDICE D – CUSTOS TOTAIS DE PRODUÇÃO DO CULTIVO DA ABÓBORA IRRIGADA POR SUPERFÍCIE NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU PENTECOSTE (1,0 ha)**

Discriminação	Unidade	Vr.Unit.- R\$	ANO	
			Quant.	Vr.Total - R\$
<b>1. INSUMOS</b>				<b>1172,20</b>
Sementes	kg	280	0,35	98,00
Adubo orgânico	t	50	5	250,00
Ureia	kg	1,76	120	211,20
Superfosfato simples	kg	1,28	60	76,80
Cloreto de Potássio	kg	1,76	120	211,20
Formicida	kg	3,78	0	0,00
Inseticida	kg	25	1	25,00
Fungicida	kg	45	0	0,00
Espalhante adesivo	L	1	0	0,00
Água	Área	-	-	300,00
Energia Elétrica	kwh	0,27	0	0,00
<b>2. MECANIZAÇÃO</b>				<b>320,00</b>
Roçagem	h/M	80	1	80,00
Sulcamento	h/M	80	1	80,00
Gradagem	h/M	80	2	160,00
<b>3. MÃO-DE-OBRA VARIÁVEL</b>				<b>900,00</b>
Coveamento/Adubação de fundação	d/H	20	10	200,00
Prep.Muda/Plantio/replatio	d/H	20	7	140,00
Adubação de cobertura	d/H	20	4	80,00
Capinas manuais	d/H	20	10	200,00
Pulverização costal	d/H	20	4	80,00
Colheita	d/H	20	10	200,00
<b>4. IRRIGAÇÃO (Conjunto de Sifões)</b>				<b>600,00</b>
<b>5. TOTAL</b>				<b>2992,20</b>

**APÊNDICE E – CUSTOS TOTAIS DE PRODUÇÃO DO CULTIVO DO MILHO  
ESPIGA NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU PENTECOSTE (1,0 ha)**

Discriminação	Unidade	Quant.	Vr.Unit.-R\$	Vr.Total - R\$
<b>1. INSUMOS</b>				<b>100,00</b>
<b>2. MECANIZAÇÃO</b>	h/M	4	80,00	<b>320,00</b>
<b>3. MÃO-DE-OBRA VARIÁVEL</b>	d/h	30	20,00	<b>600,00</b>
<b>4. TOTAL</b>				<b>1020,00</b>

Obs: Cultivado nos meses de fevereiro a abril (sequeiro).

**APÊNDICE F – CUSTOS TOTAIS DE PRODUÇÃO DO CULTIVO DO FEIJÃO  
IRRIGADO POR SUPERFÍCIE NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU PENTECOSTE  
(1,0 ha)**

Discriminação	Unidade	Quant.	Vr.Unit.-R\$	Vr.Total - R\$
<b>1. INSUMOS</b>				<b>170,00</b>
<b>2. MECANIZAÇÃO</b>	h/M	4	80,00	<b>320,00</b>
<b>3. MÃO-DE-OBRA VARIÁVEL</b>	d/h	60	20,00	<b>1200,00</b>
<b>4. TOTAL</b>				<b>1690,00</b>

Obs: Utiliza sifões da área da abóbora irrigada por superfície.

**APÊNDICE G – CUSTOS TOTAIS DE PRODUÇÃO DO CULTIVO DO FEIJÃO  
IRRIGADO DE FORMA LOCALIZADA NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU  
PENTECOSTE (1,0 ha)**

Discriminação	Unidade	Quant.	Vr.Unit.-R\$	Vr.Total - R\$
<b>1. INSUMOS</b>				<b>170,00</b>
<b>2. MECANIZAÇÃO</b>	h/M	4	80,00	<b>320,00</b>
<b>3. MÃO-DE-OBRA VARIÁVEL</b>	d/h	60	20,00	<b>1200,00</b>
<b>4. EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO</b>			1000,00	<b>1000,00</b>
<b>5. TOTAL</b>				<b>2690,00</b>

Obs: Sistema de irrigação complementar a área da abóbora irrigada de forma localizada.

**APÊNDICE H – CUSTOS TOTAIS DE PRODUÇÃO DO CULTIVO DA ABÓBORA IRRIGADA DE FORMA LOCALIZADA COM ÁGUA PROVENIENTE DE REÚSO DO EXCESSO DA IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU PENTECOSTE (1,0 ha)**

Discriminação	Unidade	Vr.Unit.- R\$	ANO	
			Quant.	Vr.Total - R\$
<b>1. INSUMOS</b>				<b>943,04</b>
Sementes	kg	280	0,35	98,00
Adubo orgânico	t	50	5	250,00
Ureia	kg	1,76	120	211,20
Superfosfato simples	kg	1,28	60	76,80
Cloreto de Potássio	kg	1,76	120	211,20
Formicida	kg	3,78	0	0,00
Inseticida	kg	25	1	25,00
Fungicida	kg	45	0	0,00
Espalhante adesivo	L	1	0	0,00
Água	Área	-	-	-
Energia Elétrica	kwh	0,27	262,36	70,84
<b>2. MECANIZAÇÃO</b>				<b>240,00</b>
Roçagem	h/M	80	1	80,00
Grade Aradora	h/M	80	2	160,00
<b>3. MÃO-DE-OBRA VARIÁVEL</b>				<b>900,00</b>
Coveamento/Adubação de fundação	d/H	20	10	200,00
Prep.Muda/Plantio/replatio	d/H	20	7	140,00
Adubação de cobertura	d/H	20	4	80,00
Capinas manuais	d/H	20	10	200,00
Pulverização costal	d/H	20	4	80,00
Colheita	d/H	20	10	200,00
<b>4. EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO</b>				<b>3500,00</b>
<b>5. TOTAL</b>				<b>5583,04</b>



**APÊNDICE I – CUSTOS TOTAIS DE PRODUÇÃO DO CULTIVO DA ABÓBORA IRRIGADA DE FORMA LOCALIZADA COM ÁGUA PROVENIENTE DE POÇO RASO NO PERÍMETRO IRRIGADO CURU PENTECOSTE (1,0 ha)**

Discriminação	Unidade	Vr.Unit.- R\$	ANO	
			Quant.	Vr.Total - R\$
<b>1. INSUMOS</b>				<b>945,96</b>
Sementes	kg	280	0,35	98,00
Adubo orgânico	t	50	5	250,00
Ureia	kg	1,76	120	211,20
Superfosfato simples	kg	1,28	60	76,80
Cloreto de Potássio	kg	1,76	120	211,20
Formicida	kg	3,78	0	0,00
Inseticida	kg	25	1	25,00
Fungicida	kg	45	0	0,00
Espalhante adesivo	L	1	0	0,00
Água			0	0,00
Energia Elétrica	kwh	0,27	273,18	73,76
<b>2. MECANIZAÇÃO</b>				<b>240,00</b>
Roçagem	h/M	80	1	80,00
Grade Aradora	h/M	80	2	160,00
<b>3. MÃO-DE-OBRA VARIÁVEL</b>				<b>900,00</b>
Coveamento/Adubação de fundação	d/H	20	10	200,00
Prep.Muda/Plantio/replatio	d/H	20	7	140,00
Adubação de cobertura	d/H	20	4	80,00
Capinas manuais	d/H	20	10	200,00
Pulverização costal	d/H	20	4	80,00
Colheita	d/H	20	10	200,00
<b>4. EQUIPAMENTO DE IRRIGAÇÃO</b>				<b>3500,00</b>
<b>5. CONSTRUÇÃO POÇO RASO</b>				<b>1080,00</b>
<b>6. TOTAL</b>				<b>6665,96</b>