

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE  
CURSO DE DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

**FRANCISCO MAVIGNIER CAVALCANTE FRANÇA**

**INDICADORES INTEGRADOS DE SUSTENTABILIDADE E ANÁLISE DE  
DECISÃO MULTICRITERIAL DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO  
DO CEARÁ**

**FORTALEZA  
2016**

**FRANCISCO MAVIGNIER CAVALCANTE FRANÇA**

**INDICADORES INTEGRADOS DE SUSTENTABILIDADE E ANÁLISE DE  
DECISÃO MULTICRITERIAL DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO  
DO CEARÁ**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Rogério César Pereira da Araújo

**FORTALEZA  
2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F881i França, Francisco Mavignier Cavalcante.

Indicadores integrados de sustentabilidade e análise de decisão multicriterial de barragens subterrâneas no Estado do Ceará / Francisco Mavignier Cavalcante França. – 2016.

167 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Fortaleza, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo.

Coorientação: Prof. Dr. George Satander de Sá Freire.

1. Barragem subterrânea. 2. Semiárido do Ceará. 3. Método AHP. 4. Método Painel de sustentabilidade. 5. Tecnologia social. I. Título.

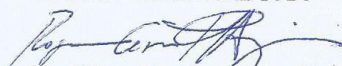
**FRANCISCO MAVIGNIER CAVALCANTE FRANÇA**

**INDICADORES INTEGRADOS DE SUSTENTABILIDADE E ANÁLISE DE  
DECISÃO MULTICRITERIAL DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO  
DO CEARÁ**

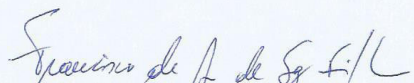
Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

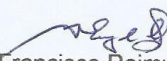
Aprovada em: 23/02/2016.

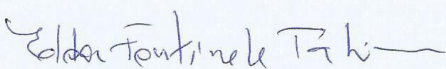
**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Dr. Rogério César Pereira de Araújo (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará

  
Prof. Dr. George Satander de Sá Freire  
Universidade Federal do Ceará

  
Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho  
Universidade Federal do Ceará

  
Prof. Dr. Francisco Raimundo Evangelista  
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

  
Profa Dra. Elda Fontinele Tahim  
Instituto Centro de Ensino Tecnológico (CENTEC)

## RESUMO

A barragem subterrânea é uma tecnologia social de baixo custo e de processo simples de construção e operação. Na zona semiárida do Estado do Ceará há potencial para construção de, aproximadamente, 3.400 barragens subterrâneas. O problema central, deste estudo, é a falta de conhecimento aprofundado do grau de sustentabilidade das barragens subterrâneas do Ceará, em termos econômicos, sociais, ambientais e institucionais. Assim, o objetivo desta tese é analisar a sustentabilidade das barragens subterrâneas, do Estado do Ceará, como uma tecnologia social para convivência como semiárido. Para isto, utilizou-se o método Painel de Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*), por dimensão e global, e o Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process*) para identificar a alternativa de exploração de barragem subterrânea que gera maiores benefícios às comunidades. A aplicação dos questionários (pesquisa de campo), para a utilização do método Painel de Sustentabilidade, foi realizada junto a 40 agricultores, proprietários das barragens subterrâneas, localizados em 11 municípios do Estado do Ceará. A coleta dos julgamentos, para a aplicação do Método de Análise Hierárquica, aplicada junto a 11 especialistas e/ou decisores, com experiência em barragens subterrâneas. Na utilização do Painel de Sustentabilidade, que visa identificar o grau de desempenho de indicadores de desenvolvimento sustentável por indicador, por dimensão e global, foram selecionados com o auxílio da análise de componentes principais, 28 indicadores. Destes indicadores, apenas 36% alcançaram o patamar de 700 pontos, que é o limiar da sustentabilidade adotado nesta tese. Nenhuma das quatro dimensões atingiu o patamar de 700 pontos. O mais baixo desempenho ficou com a dimensão econômica, ao atingir apenas 218 pontos (necessidade de atenção severa), quando a métrica máxima desejável para o modelo é 1.000 pontos ou, no mínimo, o limiar da sustentabilidade de 700 pontos. O índice global, de desenvolvimento sustentável (IGDS) das barragens subterrâneas do Estado do Ceará, atingiu a métrica de 538 pontos, considerado um grau médio de desempenho e abaixo do limiar da sustentabilidade. A seleção das alternativas de barragens, feita pelo Método AHP, segundo o uso predominante, mostrou que a maior prioridade para investimento, a ser decidida pelo gestor público, é para a “barragem subterrânea focada na oferta de água”, seguida de perto pela “barragem

subterrânea focada na produção agrícola”. A menor métrica ficou para a “barragem focada em ganhos ambientais”, com uma métrica que alcançou apenas 33% da primeira alternativa. Outra constatação relevante, que merece reflexão, foi o fato de os agricultores (análise *ex-post*) terem registrado um razoável desempenho dos indicadores da dimensão ambiental, enquanto os especialistas e decisores (análise *ex-ante*) terem classificado a “barragem focada em ganhos ambientais” na terceira prioridade, com métrica igual a um terço da primeira alternativa.

**Palavras-chave:** barragem subterrânea. Semiárido do Ceará. Método AHP. Método do Painel de Sustentabilidade; Tecnologia social.

## ABSTRACT

The underground dam is a social technology of low cost and simple process of construction and operation. In the semi-arid zone of Ceara there is potential to build approximately 3,400 underground dams. The central problem of this study is the lack of in-depth knowledge of the degree of sustainability of underground dams of Ceará, in economic, social, environmental and institutional terms. The objective of this thesis is to analyze the sustainability of underground dams, the state of Ceará, as a social technology to living as semi-arid. For this, we used the Dashboard of Sustainability Method by dimension and global, and the Analytic Hierarchy Process to identify the underground dam operating alternative that generates greater benefits to communities. The questionnaires (field research), for the use of Dashboard of Sustainability method, was carried out with 40 farmers, owners of underground dams, located in 11 municipalities of the State of Ceará. The collection of judgments, for the application of Analytic Hierarchy Process applied together 11 experts and / or decision-makers with expertise in underground dams. When using the Dashboard of Sustainability method, which aims to identify the level of performance of sustainable development for indicator by size and global, were selected with the help of principal component analysis, 28 indicators. These indicators, only 36% achieved the level of 700 points, which is the sustainability threshold used in this thesis. None of the four dimensions reached the level of 700 points. The lower performance was with the economic dimension, reaching only 218 points (need for severe attention) when the maximum metric desirable for the model is 1,000 points or at least the threshold of sustainability of 700 points. The overall index, sustainable development (IGDS) of underground dams of Ceara, reached the metric of 538 points, considered an average level of performance and below the sustainability threshold. The selection of dam alternatives, made by AHP, according to the predominant use, showed that the highest priority for investment, to be decided by the public manager is to "underground dam focused on water supply," closely followed by "underground dam focused on agricultural production". The lowest metric was to "dam focused on environmental benefits", with a metric that reached only 33% of the first alternative. Another important finding that deserves reflection, was that farmers (ex-post analysis) have recorded reasonable performance of the environmental dimension

indicators, while the expert and decision-makers (analysis ex-ante) have rated the "dam focused on earnings environmental" the third priority, with metric equal to one third of the first alternative.

Keywords: underground dam. Semiarid region of Ceará. AHP. Sustainability Dashboard of Sustainability method; social technology.



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
1.1	Contexto	10
1.2	O problema e sua importância	12
1.3	Objetivos geral e específicos	16
1.4	Estrutura da tese	16
<b>2</b>	<b>CONTRIBUIÇÃO AO ESTADO DA ARTE DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS</b>	<b>18</b>
2.1	Caracterização de barragens subterrâneas	18
2.1.1	Conceito	18
2.1.2	Barragens subterrâneas no mundo	19
2.1.3	Barragens subterrâneas no Brasil	20
2.1.4	Modelos de barragens subterrâneas	20
2.2	Potencialidades e inovações	27
2.3	Aspectos legais e ação governamental	30
2.4	Aspectos socioeconômicos e ambientais	32
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>37</b>
3.1	O enfoque de desenvolvimento sustentável	37
3.1.1	Aspectos conceituais	37
3.1.2	Dimensões	38
3.1.3	Sustentabilidade e convivência com o semiárido	40
3.1.4	Tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável	42
3.2	Indicadores de desenvolvimento sustentável	48
3.2.1	Aplicação de índices de desenvolvimento sustentável	49
3.2.2	Aspectos conceituais e caracterização	51
3.2.3	Sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável	52
3.2.3.1	Método da Pegada Ecológica	52
3.2.3.2	Painel de Sustentabilidade ( <i>Dashboard of Sustainability</i> )	53
3.2.3.3	Barômetro da Sustentabilidade	55
3.3	Painel de Sustentabilidade	57
3.4	Análise de componentes principais (ACP)	60
3.5	Métodos quantitativos de apoio à tomada de decisão	62
3.5.1	Os métodos sob o enfoque financeiro	62
3.5.1.1	Análise custo-benefício (ACB)	62
3.5.1.2	Análise custo-utilidade (ACU)	63
3.5.1.3	Análise custo-eficiência (ACE)	63
3.5.2	Análise multicriterial	64
3.5.2.1	Aspectos gerais	64
3.5.2.2	Descrição do método AHP	65
3.5.2.3	Aplicações do método AHP na área de recursos hídricos no Brasil	66
3.6	O Método de Análise Hierárquica(AHP)	67
3.6.1	Considerações gerais	67
3.6.2	Fundamentação teórica do AHP	70
3.6.3	Etapas do método AHP	72
3.6.4	Estruturação da hierarquia	73
3.6.5	Julgamentos de valor	74

3.6.6	Cálculo as prioridades	75
3.6.7	Cálculo das prioridades médias globais	77
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>78</b>
4.1	Área de estudo	78
4.2	Modelos de análise	78
4.2.1	Painel de Sustentabilidade	79
4.2.2	Modelo AHP	90
4.3	Coleta de dados	93
4.3.1	Amostragem	93
4.3.2	Questionário dos indicadores das barragens subterrâneas	96
4.3.3.	Entrevistas com especialistas e decisores para o método AHP	96
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>99</b>
5.1	Indicadores Painel de Sustentabilidade	99
5.1.1	Importância dos indicadores, segundo o valor obtido e o grau de significância estatística	101
5.1.2	Desempenho dos indicadores, segundo o grau de sustentabilidade e a dimensão	108
5.1.3	Desempenho dos indicadores de desenvolvimento sustentável (IDS) das barragens subterrâneas do Ceará, por dimensão e global	113
5.2	Resultado obtidos por meio do Método de Análise Hierárquica (AHP)	115
5.3	Análise conjunta dos indicadores do Painel de Sustentabilidade com os resultados do Método de Análise Hierárquica	120
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>122</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>125</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>136</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>161</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Contexto

As barragens subterrâneas vêm sendo classificadas por várias instituições públicas, organizações não governamentais e especialistas, a exemplo da Embrapa, da Fundação Banco do Brasil e do Banco Mundial, como sendo uma tecnologia social adotada, predominantemente, na região Nordeste do Brasil. Nessa região, o clima semiárido tem dificultado as explorações agrícolas tradicionais que, associado ao baixo nível de escolaridade dos pequenos agricultores, configura-se em uma barreira à adoção de inovações tecnológicas, a exemplo de barragem subterrânea. Estudos detalhados sobre os efeitos das barragens subterrâneas são praticamente inexistentes.

Do total de barragens construídas no Estado do Ceará, 27 foram implantadas em quatro microbacias hidrográficas do semiárido cearense, por meio do Projeto de Desenvolvimento Hidroambiental (PRODHAM), com o objetivo de servirem como unidades de demonstração. Esse projeto foi desenvolvido em caráter piloto e experimental, tendo como objetivo a execução de ações articuladas e sustentáveis de recuperação/preservação dos recursos ambientais visando o desenvolvimento socioeconômico de microbacias hidrográficas. O Projeto teve apoio financeiro do Banco Mundial e foi executado pela Secretaria de Recursos Hídricos com a participação técnica da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) (FRANÇA *et al.*, 2010).

João Bosco de Oliveira, ex-coordenador do PRODHAM, estudioso e executor de inúmeros projetos de tecnologias hidroambientais no Ceará, afirma, em Oliveira (2010, p. 45), que “a barragem subterrânea consiste em construir um septo no depósito aluvional de um rio ou riacho, com a finalidade de impedir que a água, nele acumulada, continue a escoar durante o período de estiagem”. Desse modo, tem-se como resultado, à montante, um substrato úmido para cultivo agrícola e oferta de água para o consumo humano e animal.

A barragem subterrânea é uma estrutura hídrica de baixo custo, que envolve um processo simples de construção e operação, podendo ser implantada em locais que possuam as condições naturais favoráveis, tais como: rios ou riachos com depósito aluvional em seu leito; baixa profundidade do substrato rochoso; e pequena largura entre as extremidades no local em que será construído o barramento. Tal

obra contribui para a redução dos efeitos negativos da estiagem (variabilidade anual) e das secas, em razão do aumento da disponibilidade de água no solo, para consumo humano e animal, e a redução dos riscos climáticos sobre as explorações agrícolas, principalmente, em pequenas propriedades rurais (CIRILO; COSTA, 1999; SILVA *et al.*, 2007a; OLIVEIRA, 2010).

A barragem subterrânea é uma tecnologia milenar, praticada em zonas áridas e semiáridas de vários países do mundo. No Nordeste do Brasil, esta tecnologia foi disseminada na década de 1980. Estimativas feitas por Cirilo *et al.* (1999), Costa *et al.* (2002), Costa (2002), França (2010), Semarh (2012) e Ematerce (2015), permitem afirmar que foram construídas mais de 1.300 barragens na zona semiárida do Brasil, até 2012.

Porém, mais de 50% dessas barragens apresentaram problemas na fase de construção, tais como: baixa capacidade de acumulação de água da bacia hidráulica, deficiência na impermeabilização do septo, que ocasionou o vazamento da água acumulada, e construção da barragem em solos salinos. Observa-se, também, que o produtor teve dificuldades quanto ao uso e conservação da obra. Isso se deveu à falta de experiência na construção de tais intervenções e por terem sido construídas, predominantemente, em anos de seca, como obras de emergência (ANGELFARE, 2012; CIRILO *et al.*, 1999; COSTA *et al.*, 2002; FRANÇA *et al.*, 2012).

O problema central deste estudo é analisar o grau de sustentabilidade das barragens subterrâneas do Ceará, levando em consideração as dimensões econômica, social, ambiental e institucional. Somado a isso, pretende-se conhecer o tipo de barragem subterrânea que melhor atenda à demanda por água, produtos agrícolas ou serviços ambientais.

Para a consecução deste estudo, estabeleceu-se como pressupostos: o enfoque de desenvolvimento sustentável, o foco no conceito de tecnologia social e a prática da convivência com o semiárido, tendo o agricultor familiar como beneficiário principal das ações. Estes pressupostos são analisados, em profundidade, no Capítulo 3: Referencial Teórico.

## 1.2 O problema e sua importância

A zona semiárida do Estado do Ceará, segundo Pereira Jr. (2007), corresponde a 86,8% de sua área territorial e possui uma população de 4,7 milhões de habitantes (IBGE, 2011). Essa zona é caracterizada, principalmente, por apresentar pluviosidade baixa e irregular, a intermitência dos rios e riachos, balanço hídrico negativo durante grande parte do ano, insolação intensa (2.800 horas/ano) e predominância de solos oriundos de rochas cristalinas, razão pela qual são rasos, pouco permeáveis, sujeitos à erosão e de razoável fertilidade natural (IPLANCE, 1997; PEREIRA JR., 2007; PEREIRA *et al.*, 2010; ANDRADE *et al.*, 2010).

Essa caracterização fisiográfica do semiárido cearense é importante para se conhecer as suas limitações e potencialidades. No entanto, sob o ponto de vista da sustentabilidade, o conceito de zona semiárida assume um espectro mais amplo, em virtude de suas complexidades e possibilidades.

Assim, sob o ponto de vista interdisciplinar, o conceito moderno de semiárido assume uma configuração que vai além dos aspectos edafoclimáticos. Esse conceito é assumido pelo Governo do Estado do Ceará (CEARÁ, 2014, p. 23) quando registra que:

o conceito de semiárido deve, então, ser entendido como um espaço social complexo por ser portador de três atributos interligados, complementares e indissociáveis:

É espaço de população e de atividades econômicas diversificadas e intersetoriais;

É espaço de vida, de organização social e de produção cultural para as pessoas;

É espaço de relações com a natureza, o que, ao mesmo tempo, estrutura as características assumidas pelos dois atributos anteriores e determina as condições e as peculiaridades de sustentabilidade ambiental e de preservação dos recursos naturais existentes.

Considerando essa visão moderna, de convivência com a zona semiárida, exposta na citação anterior (CEARÁ, 2014, p. 23), as inovações focadas em tecnologias sociais e em outras técnicas de exploração, ainda, não estão qualificadas e disseminadas, por meio de políticas públicas que visem à melhoria de vida da população que está vulnerável aos períodos de estiagens anuais e às secas periódicas.

Como forma de conviver com estas limitações, os governantes dos estados do Nordeste do Brasil, sobretudo no Ceará, têm feito investimentos significativos em obras hídricas de grande porte, ao longo das últimas quatro décadas, a exemplo da construção de grandes reservatórios, a transposição e interligação de bacias hidrográficas e a implantação de perímetros de irrigação. A baixa efetividade dessas intervenções, em elevar a produtividade da agricultura familiar e o abastecimento humano de água no semiárido brasileiro e, por extensão, em todo território cearense, tem deixado uma parcela significativa da população sujeita aos efeitos negativos da escassez hídrica e dos prejuízos causados pelas secas periódicas (FRANÇA, 2001).

Reforçando as afirmações do parágrafo anterior, levantamento da PNAD (2010) registra que apenas 18,9% dos domicílios rurais do Ceará, em 2009, estavam ligados à rede pública de abastecimento de água. Quanto à agricultura irrigada, França (2001) informa que, em 1998, existiam 170.000 ha com infraestrutura para exploração nos perímetros públicos do Nordeste, no entanto, somente 63%, desse total, estava sendo utilizada. Em período mais recente, anos de 2010-2011, no Estado do Ceará, segundo a ADECE (2013), apenas 44% das suas áreas estruturadas para irrigação estavam sendo utilizadas.

Tal situação tem demonstrado que as iniciativas de aumento da oferta e acesso à água, com a construção de infraestrutura hídrica de grande porte, foram insuficientes para gerar os benefícios sociais e econômicos de forma pulverizada, sobretudo, água para consumo humano e produção agrícola irrigada.

Diante disso, têm sido adotadas tecnologias de convivência com a zona semiárida do Ceará no sentido de mitigar os problemas de oferta de água para múltiplos usos, durante os períodos de estiagem anual e seca periódica. Neste sentido, referidas tecnologias de pequeno porte têm recebido atenção especial das instituições públicas nacionais (Ministério do Desenvolvimento Agrário e Ministério da Integração) e estaduais (secretarias afins e empresas de assistência técnica e extensão rural), como forma de minimizar a carência de água e de alimentos das populações mais vulneráveis.

Várias alternativas de tecnologias sociais, voltadas para o manejo integrado de água, solo e planta, vêm sendo conduzidas, tanto no Ceará como nos demais estados com zonas semiáridas do Brasil. As mais destacadas são: barragens

subterrâneas, barragens sucessivas de contenção de sedimentos, agricultura de vazante, quintais produtivos, mandalas e sistemas agrossilvipastoris.

O Instituto de Tecnologia Social (ITS, 2004, p. 26) conceitua tal prática como sendo o “conjunto de técnicas e metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para inclusão social e melhoria das condições de vida”.

Como tecnologias sociais, aderentes ao tema desta tese, podem-se destacar: as barragens sucessivas de contenção de sedimentos, agricultura de vazante e as barragens subterrâneas.

Silva *et al.* (2007b), afirma que uma alternativa tecnológica que tem contribuído para a redução dos efeitos negativos dos longos períodos de estiagem, é a barragem subterrânea, por ser um projeto hidroambiental que incrementa a disponibilidade de água no solo, reduzindo os riscos das explorações agrícolas e viabilizando a agricultura em pequenas e médias propriedades rurais.

Saliente-se, no entanto, que as barragens subterrâneas têm sido pouco estudadas cientificamente, quanto à viabilidade econômica, benefícios e limitações. Os estudos encontrados na literatura abordam alguns aspectos qualitativos sem, no entanto, indicarem as metodologias e a possibilidade de generalização desses resultados (FRANÇA *et al.*, 2010; COSTA *et al.*, 2002; FERREIRA, *et al.*, 2011). Os poucos estudos, que apontam indicadores quantitativos, são referentes a tipologias teóricas (FRANÇA, *et al.*, 2012) e quando se referem a barragens subterrâneas em exploração, tais indicadores são limitados e não há descrição da metodologia utilizada (HANSON; NILSSON, 1986; SILVA *et al.*, 2007b; CIRILO, *et al.* 2003).

Cirilo *et al.* (2003) registraram os resultados de uma pesquisa sobre a utilização de 151 barragens subterrâneas, localizadas em Pernambuco, em que consta que deste total, 94 já tinham sido utilizadas pela comunidade, ao menos uma vez, após a sua construção, e 57 eram inativas (38%), ou seja, não tinham sido utilizadas pela comunidade.

Não se conhece ainda, de forma científica, o papel das barragens subterrâneas do Estado do Ceará para a sustentabilidade das comunidades beneficiadas. Essa carência de informação precisa ser minimizada, para que se tenha conhecimento se as barragens subterrâneas estão apresentando os resultados desejados de um empreendimento sustentável, concebido como sendo “aquela que resulta em melhoria do bem-estar das pessoas, devido a uma maior

preocupação com a equidade social, com os riscos ambientais e com a escassez dos recursos naturais” (PNUMA, 2011).

Os problemas mais frequentes das barragens subterrâneas, existentes no Estado do Ceará, sinalizados de forma genérica, em Costa *et al.* (2002), Lima *et al.* (2009), França *et al.* (2010), Oliveira *et al.* (2010b), França *et al.* (2012), são: a) prioridade na obra de engenharia agrícola e não em um empreendimento socioeconômico e ambiental; b) baixo grau de exploração da barragem subterrânea pelos agricultores; c) baixo nível técnico dos estudos de locação e construção da barragem; d) sistema de produção desconsiderado no planejamento da exploração da bacia hidráulica da barragem; e) uso ineficiente das áreas agricultáveis das barragens; f) baixa prioridade nas políticas e programas governamentais direcionadas às barragens subterrâneas; e g) carência acentuada de mão de obra qualificada no campo e nas instituições governamentais, para tratar adequadamente a tecnologia de barragem subterrânea.

Mesmo com os problemas verificados, existem casos de barragens subterrâneas exitosas, quanto à produção agrícola e oferta de água, por terem sido planejadas e manejadas adequadamente (SILVA *et al.*, 1998; FERREIRA *et al.* 2011; EMBRAPA, 2014). No município de Tamboril-CE, segundo Araújo (2012), existem seis barragens subterrâneas com bom desempenho na exploração de hortaliças, capim e no fornecimento de água.

As vantagens atribuídas às barragem subterrânea são: a) redução dos efeitos das secas e atenuação do período anual de estiagem; b) aumento da área agricultável, com subirrigação<sup>1</sup>, dos estabelecimentos familiares; c) geração de emprego e renda no período de entressafra; d) redução do investimento financeiro em projetos para convivência com a seca; e) democratização da oferta de água; e f) promoção de ganhos ambientais, pela recuperação da mata ciliar e conservação do solo.

A zona semiárida do Brasil reúne uma gama de fatores favoráveis à disseminação da barragem subterrânea, especialmente, no Estado do Ceará, destacando-se: disponibilidade de vastas áreas aluvionais existentes nas

---

<sup>1</sup>Na subirrigação, irrigação subsuperficial ou irrigação subterrânea, o lençol freático da área de cultivo permite que a água ascenda para as raízes da planta por capilaridade. Neste sistema é necessário manejo do solo adequado (curvas de nível) e o zoneamento dos cultivos em função da profundidade da lâmina d'água do lençol freático. A subirrigação é considerada o sistema de irrigação de menor custo.



microbacias hidrográficas (Anexo B); aceitação das tecnologias sociais pelos agricultores familiares; experiência acumulada na implantação de barragens subterrâneas ao longo de três décadas; e, por fim, a capacidade de adoção desta tecnologia pelos estabelecimentos familiares como instrumento de convívio com os estios anuais e secas periódicas.

Esta pesquisa propõe-se, portanto, a preencher algumas lacunas de conhecimento sobre a sustentabilidade das barragens subterrâneas no Estado do Ceará e, por extensão, no Nordeste do Brasil, à medida que um volume crescente de recursos públicos é alocados em infraestrutura hidroambiental, para aumentar a capacidade de a população rural conviver com o semiárido.

### **1.3 Objetivos geral e específicos**

#### a) Objetivo geral

Analisar a sustentabilidade da barragem subterrânea como uma tecnologia social para a convivência com o semiárido cearense.

#### b) Objetivos específicos

Os objetivos da pesquisa são os seguintes:

- identificar e mensurar, de forma integrada, os indicadores de sustentabilidade da barragem subterrânea no semiárido;
- propor um índice de sustentabilidade da barragem subterrânea;
- definir tipologias de barragens subterrâneas com base na priorização e hierarquização de tipos de exploração de barragens subterrâneas;
- desenvolver um protocolo de avaliação (metodologia) para mensurar a sustentabilidade da tecnologia social “barragem subterrânea”.

### **1.4 Estrutura da tese**

A tese está estruturada em seis capítulos, iniciando-se com a introdução que apresenta o contexto e a delimitação do problema, além dos objetivos. Em seguida, no Capítulo 2, é apresentado o estado da arte das barragens subterrâneas. O

capítulo 3 aborda o referencial teórico, em que são analisados, com mais profundidade os métodos do Painel de Sustentabilidade e o método da análise hierárquica (AHP). A metodologia está apresentada no capítulo 4 e os resultados e discussões no capítulo 5. Por fim, no capítulo 6 são apresentados as conclusões e recomendações.

## 2 CONTRIBUIÇÃO AO ESTADO ARTE DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS

### 2.1 Caracterização de barragens subterrâneas

#### 2.1.1 Conceito

Baseado em Oliveira (2010) e Cirilo *et al.* (2003), uma barragem subterrânea é uma obra caracterizada por um barramento artificial do fluxo de água subterrânea, construído comumente encaixado no leito do riacho, com a finalidade de manter elevado o nível freático, aumentar o armazenamento de água e estabelecer condições favoráveis de captação à montante do barramento. Tais características evitam que a água, no aquífero aluvial, continue a escoar até que se esgote com o fim do período de chuvas.

Apesar de ser uma tecnologia social, vocacionada para as regiões semiáridas do mundo, as barragens subterrâneas ainda são pouco adotadas e, quando o são, sua utilização não é feita de forma adequada.

Em uma visão de sustentabilidade, o entendimento do que seja uma barragem subterrânea se amplia, passando do conceito centrado em uma obra de engenharia agrícola para o de uma tecnologia social para convivência com o semiárido. Esse conceito abrangente é compatível com a afirmação de Da Silva (2009, p. 211), quando registra que:

São perceptíveis os avanços relacionados às tecnologias hídricas apropriadas ao Semiárido. Um dos fundamentos desse processo é o reconhecimento das múltiplas necessidades de abastecimento hídrico: captação e distribuição de água para consumo, com a construção e manutenção de pequenas barragens e outros equipamentos de uso familiar e comunitário; uso das áreas úmidas para produção de alimentos, visando à segurança alimentar; produção de mudas para recuperação da mata ciliar; formação para o manejo de recursos hídricos e do solo, evitando o desperdício e a poluição. Além das tecnologias apropriadas, a convivência com o Semiárido requer a gestão comunitária para garantir o uso sustentável da água, possibilitando o abastecimento humano e a produção apropriada, sem degradar os mananciais hídricos da superfície e os aquíferos subterrâneos.

Neste capítulo, analisam-se os modelos e a situação atual de tais obras, nos âmbitos nacional e internacional, dando ênfase à análise de viabilidade, dos benefícios e das limitações de barragens subterrâneas no Nordeste do Brasil e no mundo.

### 2.1.2 Barragens subterrâneas no mundo

A utilização de barragem subterrânea não é recente. Existem experiências do uso dessa tecnologia desde a época do Império Romano, bem como no Norte da África. Angelfire (2012), registra a existência de diques, com barragens subterrâneas, utilizados pelos Babilônicos, no Golfo Pérsico, há mais de 4.000 anos.

Cirilo *et al.* (2003) apontaram que as regiões agrícolas italianas da Calábria e da Sicília utilizavam irrigação de pomares com plantações de hortaliças, a partir de barragens subterrâneas, desde o início do Século 20. Os mesmos autores relatam, também, evidências da existência de “diques subterrâneos” no rio Los Saucos, na Argentina. As experiências melhores documentadas sobre barragens subterrâneas do início do Século 20 referem-se às barragens construídas em áreas semiáridas da Tanzânia, por volta de 1905 (NISSEN-PETERSEN, 2011). Nas duas últimas décadas, do século passado, a disseminação de barragens subterrâneas verificou-se em inúmeros países como: Quênia, Etiópia, Líbia, Namíbia, Burquina Faso, Turquia, Afeganistão, Índia, China, Japão, Coreia, Brasil, México e Estados Unidos da América. Estima-se, a partir da literatura disponível, que aproximadamente 1.900 barragens tenham sido construídas no mundo, até 2010 (ISHIDA *et al.* 2011; HANSON & NILSSON, 1986; CIRILO & COSTA, 1999; COSTA *et al.*, 2002).

No Japão e na China, das 72 barragens subterrâneas existentes, a maioria delas acumula mais de um milhão de metros cúbicos de água (ISHIDA *et al.* 2011). Na África, o maior número de barragens construídas encontra-se no Quênia, predominantemente de pequeno porte, ou seja, volumes na faixa de 15.000 a 20.000 m<sup>3</sup> de água acumulada (ISHIDA *et al.* 2011). Constatou-se, por meio de pesquisa bibliográfica (HANSON; NILSSON, 1986), que as barragens subterrâneas são construídas em regiões áridas e semiáridas do mundo e que o objetivo principal dessas barragens é a oferta de água para consumo humano e animal, exceto no Brasil, que é utilizada também para a produção agrícola (SILVA *et al.*, 2007a).

Verificou-se, ainda, que apenas no Brasil utiliza-se, de forma generalizada, a lona plástica para contenção do fluxo da água. Essa prática é uma adaptação à realidade das áreas cristalinas do semiárido<sup>2</sup> do Nordeste do Brasil, por caracterizar-

---

<sup>2</sup> A formação cristalina cearense abrange aproximadamente 87% do seu território, cobrindo toda a área central do Estado do Ceará. Essa formação apresenta comportamento diverso, no que diz respeito à vazão e à qualidade química de suas águas. Os depósitos sedimentares apresentam

se pela espessura rasa dos solos, em virtude do substrato rochoso ficar a poucos metros da superfície. Essa característica possibilita a redução do custo com a compactação do fundo da vala. Em outros países, a parede submersa da barragem é feita de alvenaria ou cimento concretado.

### 2.1.3 Barragens subterrâneas no Brasil

A introdução da tecnologia de barragem subterrânea no Brasil, segundo Costa *et al.* (2002), foi feita pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), ao construir a primeira barragem no município de Tauá-CE, no ano de 1965, com o objetivo de abastecimento de água à população local.

Essa prática hidroambiental se disseminou em todos os estados localizados na zona semiárida brasileira. Estima-se que, até 2012, tenham sido construídas, aproximadamente, 1.300 barragens subterrâneas no Nordeste do Brasil. As barragens subterrâneas foram construídas, em maior número, nos estados de Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte, com 560, 400 e 200 barragens, respectivamente (COSTA *et al.* 2002; CIRILO & COSTA, 1999; FRANÇA *et al.*, 2010; SEMARH, 2012; EMATERCE, 2015).

### 2.1.4 Modelos de barragens subterrâneas

Nos itens seguintes, é feita a caracterização da tecnologia social, denominada de barragem subterrânea, com descrição dos modelos, características técnicas, etapas de construção, vantagens e desvantagens, potencialidades, caráter inovador, além das implicações legais e institucionais.

No âmbito internacional, as barragens subterrâneas de pequeno porte têm sido implantadas na África, sobretudo no Quênia. Diferem das barragens subterrâneas do semiárido brasileiro, sobretudo, por destinarem-se, exclusivamente, ao fornecimento de água para as pessoas e para os animais e por terem o septo da barragem feito de alvenaria ou cimento concretado (HANSON; NILSSON, 1986), conforme pode ser visto na Figura 1. A implantação das barragens subterrâneas, na África, é apoiada, em sua maioria, por organizações não governamentais (ONGs),

---

potencial de armazenamento de água que, em geral, apresentam baixa concentração de sais (ANDRADE *et al.*, 2010).

em estreita parceria com os habitantes locais. As ONGs internacionais mais atuantes são: Vétérinaires Sans Frontières (VSF), Bélgica; Sahelian Solutions Foundation (SASOL), Quênia; Ethiopian Rainwater Harvesting Association, Etiópia; RAIN Foundation, Holanda; Acacia Water, Holanda; além da UNESCO e do Banco Mundial.

Figura 1 - Aspecto da construção de uma barragem subterrânea no Quênia-África



Fonte: VSF (2006, p.15)

Na zona semiárida do Brasil, mais especificamente na sua porção de embasamento cristalino, as barragens subterrâneas encontram as condições fisiográficas mais apropriadas, devido à densa rede de drenagem pluvial e da baixa profundidade do solo. Os modelos de barragens, encontradas no semiárido, são três tipos, a saber: Caatinga; Costa & Melo e Cpatasa/Embrapa.

O modelo Caatinga pode ser construído em qualquer área do Semiárido, tendo a desvantagem de acumular pouca água e não prevê cacimbão, o que dificulta a coleta de água, bem como seu nível e qualidade. Já o modelo Costa & Melo é o mais difundido por apresentar as seguintes características: é o mais apropriado para a zona cristalina do semiárido cearense, é o de mais baixa complexidade de construção, permite o monitoramento da água e é de fácil construção, exploração e manutenção. Por fim, o modelo Cpatasa/Embrapa, além de ser de construção mais complexa e cara, somente deve ser construído, preferencialmente, em zonas sedimentares.

A seguir, é feito um relato de cada um dos três modelos, com aprofundamento no modelo Costa & Melo, por ser o tema deste trabalho.

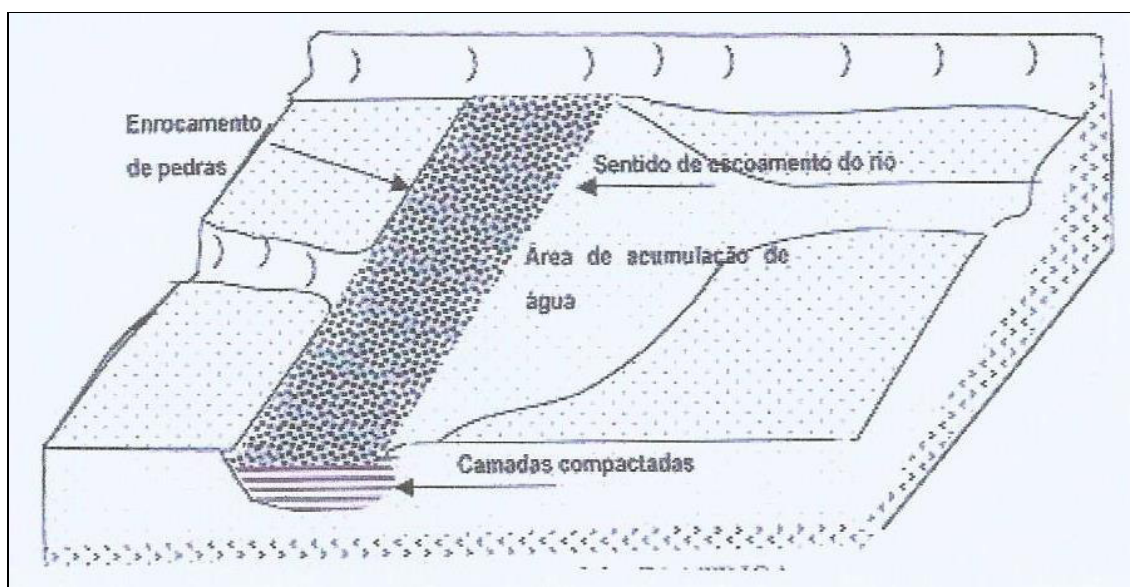
### a) Modelo Caatinga

Este tipo de barragem subterrânea, pautada na experiência internacional, originou-se de experiências implantadas, há mais de 25 anos, pela organização não-governamental Caatinga, no município de Ouricuri-PE, objetivando apoiar à agricultura familiar.

A Figura 2 apresenta uma ilustração desse tipo de barragem, que é caracterizada por uma trincheira linear compactada (septo), transversal ao sentido do riacho e um enrocamento de pedras arrumadas, sem rejunte, sobre a trincheira.

As vantagens desta barragem devem-se ao menor custo de construção, ao manejo mais simples do solo, em face do pequeno volume de água armazenada, e a utilização integral da mão de obra local em sua construção.

Figura 2 –Ilustração do Modelo Caatinga de barragem subterrânea



Fonte: Costa (1998)

As desvantagens desta barragem subterrânea, por sua vez, dizem respeito ao pequeno volume de água acumulada e a maior suscetibilidade do solo ao processo de salinização. Por esta razão, recomenda-se o uso da água apenas para a subirrigação na própria calha do rio ou riacho. Somado a isso, esta barragem não dispõe de um poço e não permite o monitoramento do nível da água de forma simples. Este tipo de barragem subterrânea tem baixa taxa de adoção que pode ser causada, sobretudo, pelas suas limitações (OLIVEIRA, 2010).

## b) Modelo Costa & Melo

No início da década de 1980, uma equipe de pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco, liderada por Waldir Duarte Costa e Pedro Gama de Melo, desenvolveu um tipo de barragem subterrânea que foi patenteado com a denominação de Costa & Melo, pelos seus principais autores (CIRILO; COSTA, 1997). A Figura 3 mostra uma ilustração desse tipo de barragem, em que se destacam: o septo de lona, o poço amazonas, o enrocamento de pedras e os piezômetros<sup>3</sup>.

Este tipo de barragem tem sua estrutura caracterizada por: escavação de uma trincheira retilínea perpendicular à direção do escoamento; colocação de um septo impermeável ao longo da trincheira; construção de um poço amazonas junto ao septo impermeável à montante deste; e um enrocamento de pedras arrumadas, sem rejunte, na superfície, sobre o septo impermeável. O Modelo Costa & Melo preconiza o uso de piezômetros na bacia hidráulica da barragem, porém, na atualidade utiliza-se, apenas, o poço amazonas para mensurar o nível freático e a qualidade da água.

As principais vantagens deste tipo de barragem subterrânea são: rapidez na construção (um a dois dias se mecanizada); baixo custo, podendo ser executada com mão de obra do próprio local; condições favoráveis de controle do processo de salinização do solo; permite o monitoramento do nível da água ao longo do ano; e múltiplos usos da água. Neste último aspecto, a água pode ser empregada na exploração agropecuária, em regime de subirrigação e irrigação complementar ou como fonte de água potável para os animais e as famílias da comunidade do entorno.

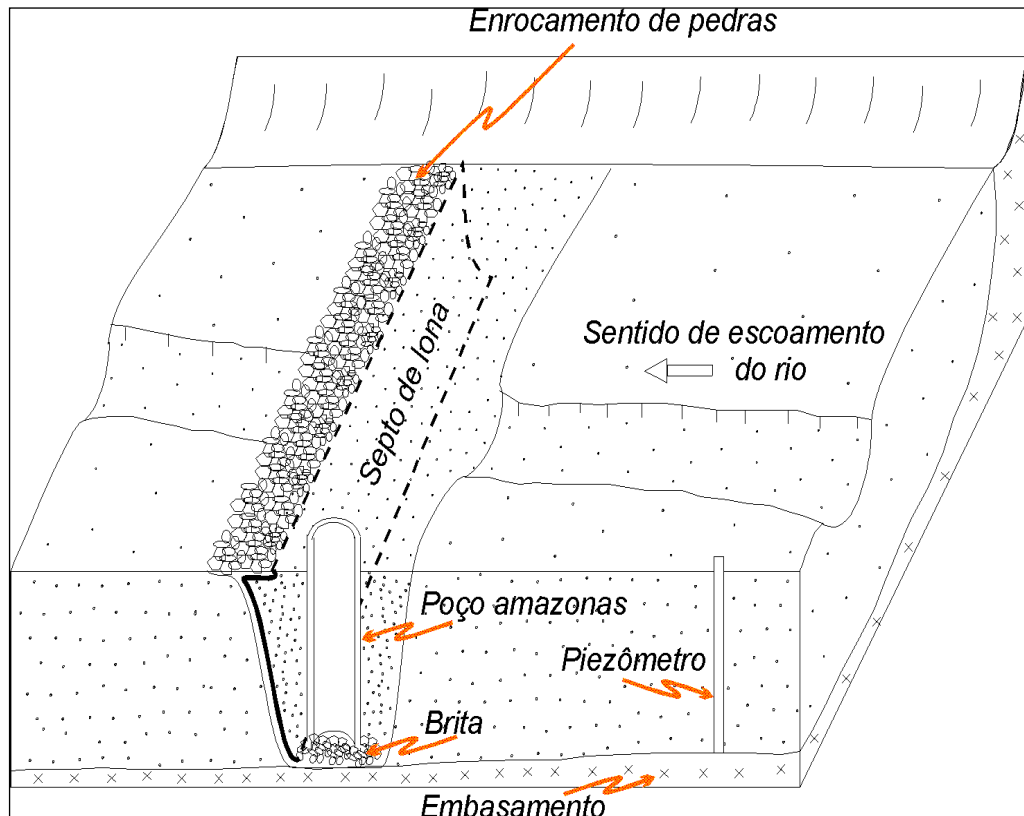
As desvantagens desta barragem estão relacionadas ao custo relativamente elevado (comparado ao modelo Caatinga), por requerer condições fisiográficas (solos e topografia) favoráveis para sua construção; exigência de estudos detalhados de locação da barragem; e exigência de manejo adequado do solo, para evitar sua salinização, em razão do elevado volume de água, acumulada na bacia (OLIVEIRA; FRANÇA, 2010b).

---

<sup>(3)</sup> Piezômetro é um tubo (cano) vertical, aberto nas duas extremidades, enfiado na área de ocorrência de água subterrânea para permitir a medição do nível do lençol freático.



Figura 3 – Ilustração do modelo Costa & Melo de barragem subterrânea



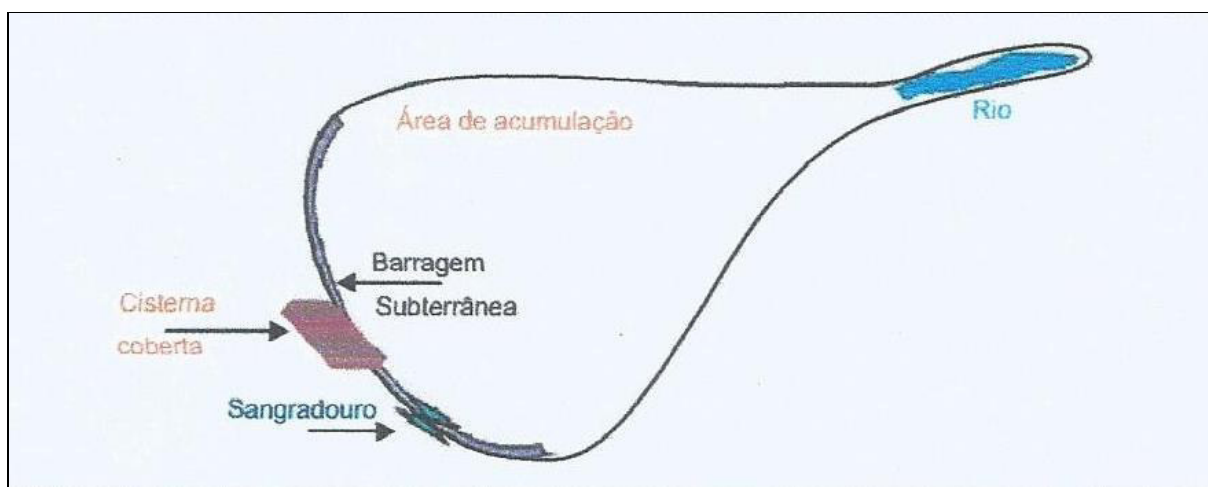
Fonte: Costa (1998)

### c) Modelo Cpatsa / Embrapa (Petrolina – PE)

O modelo Cpatsa/Embrapa de barragem subterrânea foi desenvolvido pela Embrapa-Semiárido (Petrolina-PE), na década de 1980, com a finalidade de aumentar a captação e o armazenamento de água para a agricultura de subsistência. Na Figura 4, mostra-se o *croqui* do modelo Cpatsa/Embrapa, na qual se destacam o eixo de barramento em forma de arco, a cisterna coberta e o sangradouro.

Esta barragem subterrânea é construída na forma de arco tendo à jusante uma parede com altura de cerca de 1,0 m, a qual é impermeabilizada. O sangradouro pode ser feito de cimento concretado ou alvenaria. À jusante da barragem, posiciona-se uma cisterna coberta com telhado, na qual se instala um filtro de areia e carvão.

Figura 4 – Ilustração do modelo Cpatsa/Embrapa de barragem subterrânea



Fonte: Costa (1998)

As principais vantagens desta barragem subterrânea relacionam-se à sua maior capacidade de acumulação de água e permite fazer múltiplos usos da água.

As limitações estão relacionadas ao fato de que este tipo de barragem leva mais tempo para ser construída e tem maior custo. Estima-se que seu custo seja cinco vezes maior que o custo do modelo Costa & Melo e dez vezes maior do que o modelo Caatinga. Para construção desta barragem, precisa-se de pessoal técnico qualificado. Somado a isso, o modelo Ceptsas/Embrapa não permite adotar medidas de controle de salinização ou fazer o monitoramento do nível da água na bacia hidráulica da barragem (OLIVEIRA, 2010; CIRILO; COSTA, 1999).

Por ser o modelo Costa & Melo o foco deste estudo, apresentam-se as etapas de construção da mesma na Figuras 5, destacam-se: a escavação, a colocação da lona e o aterramento.

Após observados os critérios de locação (qualidade do solo, largura e profundidade do septo), inicia-se a construção da barragem, escavando-se uma valeta transversal ao leito do riacho a ser barrado, cuja profundidade deve alcançar a camada impermeável do solo (rocha ou piçarra). A largura da valeta varia conforme o tipo de solo e profundidade da vala, normalmente ficando entre 1 a 1,5 m. É recomendável evitar construir barragens em áreas com predominância de solos salinos (planossolos), uma vez que os mesmos tendem a elevar a salinidade da água acumulada na barragem subterrânea.

Figura 5 – Etapas da construção de uma barragem subterrânea modelo Costa & Melo no Estado do Ceará. (a) escavação; (b) colocação da lona; (c) aterramento



Fonte: Oliveira et al. (2010)

a) escavação



Fonte: Oliveira et al. (2010)

(b) colocação da lona



Fonte: Oliveira et al. (2010)

c) aterramento

A vala pode ser aberta manualmente ou por meio de uma máquina retroescavadeira, sendo esta última, a forma mais segura e por utilizar uma quantidade menor de mão de obra, frequentemente escassa no local.

Terminada a vala, procura-se ajustar ou uniformizar a parede que fica à jusante, local em que será colocada a lona plástica de polietileno de 200 micras. Isto é feito retirando raízes e fazendo o reboco da parede com argamassa de barro e água, evitando que a lona seja perfurada (BRITO *et al.*, 1987).

Para se colocar a lona plástica, deve-se tomar os seguintes cuidados: não fazer tensão sobre a mesma; colocá-la quando os ventos forem brandos e a temperatura baixa, o que contribui para evitar sua dilatação e perfuração. Em caso de ter a lona perfurada, deve-se remendá-la, utilizando-se um pedaço do próprio material plástico e cola apropriada.

Na parte inferior do barramento, ou seja, no fundo da vala à montante, deve-se abrir uma mini valeta, na camada impermeável, e outra, na superfície do solo à jusante, com a dimensão de 20 x 20 cm, para fixar as extremidades da lona plástica (BRITO *et al.*, 1987). Isso evita que a mesma sofra danos ou “caimentos” durante a operação de reaterro.

Em seguida, deve-se escavar o terreno para a construção de um poço coletor (cacimbão) à montante, localizado o mais próximo possível da trincheira da barragem (lona plástica). O cacimbão é construído com anéis de concreto e tampa. Para a locação do poço, deve-se escolher o local da bacia hidráulica da barragem de maior profundidade. O poço tem por objetivo facilitar a coleta e uso da água armazenada, por meio de coleta manual ou bombeamento, permitir a aferição do nível do lençol freático e monitoramento do grau de salinidade.

Para que a capacidade da barragem seja totalmente utilizada, um enrocamento de pedras soltas de 60 cm de altura deve ser construído sobre a lona plástica de contenção. Esta estrutura tem como objetivo reduzir a velocidade do escoamento das águas das chuvas, facilitando, assim, a infiltração de um maior volume de água, o aumento do pacote aluvional e a melhoria da qualidade do solo. Isto deve ser feito porque a precipitação dos sólidos suspensos na água possibilita a decantação das partículas suspensas e maior tempo de percolação da água no solo da bacia hidráulica da barragem.

## **2.2 Potencialidades e inovações**

O Estado do Ceará possui 195.700 ha de solos do tipo neossolo flúvico, ou seja, aluviões de rios e riachos, onde podem ser construídas as barragens subterrâneas (IPLANCE, 1997). Isto deve-se à configuração da densa rede de drenagem hídrica do Ceará, que é resultante de sua vasta zona de configuração geológica cristalina, associado ao regime de chuvas torrenciais e baixo volume anual de precipitações.

Segundo Pereira e Andrade (2010), mais de 87% da área geográfica do Ceará é constituída de solo cristalino, com terrenos rasos, pedregosos e relevo variando de suave a acentuadamente ondulado. O Anexo A mostra a extensa rede de drenagem do município de Boa Viagem, que é um recorte típico do que acontece nas demais zonas cristalinas do Estado do Ceará.

O Ceará possui 3.439 rios ou riachos que apresentam condições fisiográficas favoráveis para construção de barragens subterrâneas. O Anexo B mostra a quantidade de rios e riachos do Ceará com potencial para implantação de barragens subterrânea, por município (OLIVEIRA, 2012).

Os solos aluvionais são encontrados no leito de rios ou riachos intermitentes da região semiárida do Ceará. O potencial de tais solos, para construção de barragens subterrâneas, está relacionado ao fato de que, logo após cessarem as chuvas, os rios ainda continuam a fluir por algum tempo, alimentados por águas que escoam do terreno saturado, em níveis mais elevados do que a calha principal ou "calha viva" do rio. Então, ao cessar completamente o escoamento superficial, a água continua a escoar subsuperficialmente, dentro do "pacote" de sedimentos ou depósito aluvional (CEARÁ, 2010).

O escoamento subsuperficial que ocorre no depósito aluvial, quando o rio ou riacho deixa de fluir na superfície, faz com que esse depósito, também conhecido como aquífero aluvial, perca gradativamente as suas reservas hídricas acumuladas, vindo mesmo a secar totalmente nos primeiros meses do período de estiagem anual. A barragem subterrânea visa estancar tal fluxo, objetivando reter a água em sua bacia hidráulica para utilização, no período de estiagem (julho a dezembro), em atividades agropecuárias e fornecimento de água potável, além de manter elevado o lençol freático da bacia hidráulica, contribuindo para o revigoramento da mata ciliar.

A barragem subterrânea reproduz os efeitos da "vazante natural", de ocorrência natural nos leitos de rios e riachos da zona semiárida do Ceará. A barragem subterrânea barra o fluxo subsuperficial da água, por meio da construção de um septo de lona plástica. Em outras palavras, a barragem subterrânea simula a vazante natural quando incorpora o septo impermeável, de forma transversal à calha do rio ou riacho.

A assertiva de que a exploração agrícola, em barragem subterrânea, é feita por meio do sistema de agricultura de vazante é reforçado por Andrade *et al.* (2010, p. 66), quando afirma:

As pequenas obras hídricas, como a cisterna, a barragem subterrânea e as barragens sucessivas (armazenamento de água na bacia hidrográfica), levam ao produtor rural de baixa renda a certeza de uma qualidade de vida melhor, decorrente da disponibilidade hídrica para consumo humano e cultivos de produtos de subsistência, fruteiras ou forrageiras através da exploração das vazantes geradas pelas barragens subterrâneas.

Essas vazantes-barragens criam condições ambientais favoráveis para aumentar a oferta de água em uma região, principalmente, quando estão distribuídas espacialmente no território, por terem capacidade de recarga total durante a quadra invernal. Mesmo em anos de seca, há recarga parcial da barragem. A propósito, a pesquisa de campo, realizada no âmbito deste estudo, revelou que, em novembro de 2014, havia 47,5% dos poços das barragens subterrâneas secos e 52,5% ainda fornecendo água para as comunidades.

Possibilitam, também, reduzir a evaporação da água acumulada e aumentar a oferta de água de qualidade relativamente superior às águas superficiais. As barragens construídas, seguindo os parâmetros técnicos, podem acumular de 10 a 20 mil metros cúbicos de água a cada ano (OLIVEIRA, 2010).

A locação de barragem subterrânea é uma das principais etapas da construção desta obra, uma vez que o descumprimento das recomendações técnicas pode tornar a barragem inoperante ou de baixo desempenho. A locação da barragem deve ser feita com base em estudos hidropedológicos e em resultados de testes de tráfego, os quais têm custos elevados.

Em muitas partes do mundo, utiliza-se o Método GPR (*ground penetration radar*) na locação de barragem subterrânea. O radar de penetração no solo (GPR) é uma técnica que emprega ondas eletromagnéticas para mapear estruturas e feições no subsolo. O método GPR permite que seja obtida uma imagem de alta resolução da subsuperfície rasa, através da transmissão de um curto pulso de alta frequência para gerar ondas eletromagnéticas (EM), que por sua vez é repetidamente radiada para dentro da terra por uma antena transmissora colocada na superfície (LIMA *et al.* 2009).

O Método GRP foi utilizado no Nordeste do Brasil para construção de duas barragens subterrâneas: uma no município de Tamboril-CE e outra em Avelino-RN. Esse experimento foi documentado em Lima *et al.* (2009). Esses autores constataram que os dados obtidos apresentaram excelentes resultados, em termos de custos de investimento e eficiência das barragens. Em programas de elevada disseminação de barragens subterrâneas, recomenda-se a utilização do GRP, por ser essa a tendência no mundo.

Oliveira (2012) delimitou as macroáreas das bacias hidrográficas do Ceará que têm maior probabilidade de êxito para construção de barragens subterrâneas.

Recomenda, ainda, excluir as áreas de nascentes dos rios e riachos, por apresentarem elevada declividade, o que impossibilitaria a acumulação de aluviões em seus leitos. Sugere, ainda, a exclusão das áreas de foz ou delta, por apresentarem os leitos dos rios e riachos muito largos, de forma a viabilizar a construção do septo da barragem subterrânea. Como ilustração, o Anexo C mostra o mapa da bacia hidrográfica do rio Acaraú, com sua rede de drenagem, e a delimitação do perímetro recomendado para construção de barragens subterrâneas.

### **2.3 Aspectos legais e ação governamental**

Uma barragem subterrânea está, necessariamente, localizada em Área de Preservação Permanente (APP), em razão de ser uma obra que tem a finalidade de barrar o curso de rio ou riacho. O marco legal que estabelece o que são áreas de APP consta no novo Código Florestal Brasileiro, conforme segue:

“Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas,

I - as faixas marginais de qualquer curso d’água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

a) “30 (trinta) metros, para os cursos d’água de menos de 10 (dez) metros de largura” (Lei nº 12.727, de 2012).

Em função de restrições do Código Florestal à exploração de APP, a Resolução nº 425/2010 do CONAMA (Anexo D) permite, em seu Art. 1º, que nos casos excepcionais de interesse social, o órgão ambiental competente pode regularizar a exploração e/ou supressão de vegetação em Área de Preservação Ambiental Permanente (APP), para agricultores familiares. Essa resolução foi ratificada, após a publicação do Código Florestal, e não ampara o uso da APP para fins agrícolas pelos médios e grandes proprietários rurais.

No caso da exploração agrícola em vazante, em que se enquadram as barragens subterrâneas, a Resolução nº 425/2010, em seu Art. 2º, estabelece que na APP são permitidas:

Atividades sazonais da agricultura de vazante, tradicionalmente praticadas pelos agricultores familiares, especificamente para o cultivo de lavouras temporárias de ciclo curto, na faixa de terra que fica exposta no período de vazante dos rios ou lagos, desde que não impliquem supressão e conversão

de áreas com vegetação nativa, no uso de agroquímicos e práticas culturais que prejudiquem a qualidade da água.

Outro dispositivo legal, que se aplica às barragens subterrâneas construídas pelo Poder Público, em estabelecimentos de agricultores familiares, é a servidão de uso público da água acumulada às comunidades situadas nas proximidades da barragem. A propósito deste dispositivo legal que, segundo Di Pietro (2008), é “o direito real de gozo, de natureza pública, instituído sobre imóvel de propriedade alheia, com base em lei, por entidade pública ou por seus delegados, em face de um serviço público ou de um bem afetado a fim de utilidade pública”.

Este instrumento está regulamentado no Art. 1.378 do Código Civil. Assim, toda barragem subterrânea, construída com recursos públicos necessita de um termo de servidão pública da água acumulada, em favor da comunidade circunvizinha, e tem que ser assinado pelo beneficiário direto da barragem subterrânea (Anexo E).

Quanto à necessidade de outorga e cobrança da água da barragem subterrânea, o Decreto Estadual nº 31.734, de 28 de maio de 2015, estabelece em seu Art. 3º, item IV, letra a.1, que para o “consumo de 1.440 a 18.999 m<sup>3</sup>/mês a tarifa é de R\$ 1,18/l.000 m<sup>3</sup>”. Considerando que o consumo, das famílias e dos animais, de água mensal da barragem subterrânea é inferior a 1.440 m<sup>3</sup>/mês (COSTA *et al.*, 2002), o proprietário da barragem é isento de outorga e do pagamento pelo uso da água da barragem subterrânea.

Nos estados nordestinos, as barragens subterrâneas vêm sendo construídas por entes públicos (por exemplo: secretarias de agricultura e de recursos hídricos, empresas de assistência técnica e extensão rural, etc.) e organizações não governamentais atuantes na zona semiárida do Ceará. Os investimentos, a fundo perdido, têm sido predominantemente, feitos pelo Governo Federal e, em alguns casos, por organismos internacionais, como o Banco Mundial. O apoio técnico e financeiro governamental, para implantação de barragens subterrâneas, tem sido observado com maior ênfase em anos de seca, direcionados particularmente aos pequenos agricultores (COSTA, 2002; FRANÇA, 2012).

No Estado do Ceará, a Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH) construiu 303 barragens subterrâneas modelo Costa & Melo, sendo 276 no período de 1997-98 e outras 27 no período de 1999-2012 (COSTA, 2002; FRANÇA, 2012). Um número adicional de 210 barragens subterrâneas foi construída nos anos de 2011-2014, pela



EMATERCE, Secretaria do Desenvolvimento Agrário e por ONGs. Assim, até 2014, acredita-se que foram construídas, no Ceará, um total de 513 barragens subterrâneas.

No entanto, estima-se que, mesmo que parcialmente, encontra-se em operação um número inferior a 300. Isto deve-se ao fato de que das 276 barragens construídas no período de 1997-98, um número reduzido está sendo explorada. Já aquelas construídas em anos mais recentes, grande parte apresenta problemas, tais como: vazamento; abandono por parte dos agricultores; e baixa recarga de água por conta da seca, do período de 2012-2015.

## 2.4 Aspectos socioeconômicos e ambientais

Os estudos identificados sobre os aspectos socioeconômicos e ambientais de barragens subterrâneas são relativamente escassos, caracterizados por análises parciais e, geralmente, sem um rigor científico desejável. Nesta seção, são analisados os principais estudos sobre a temática selecionada.

O custo de investimento, na construção de barragens subterrâneas modelo Costa & Melo (ou modelos derivados), foi estimado por: Oliveira (2001); Waldir Duarte (2003); Foster; Tuinhof (2004); VSF (2006); Silva *et al.* (2007a); SEMARH (2012) e Embrapa (2014), conforme detalhes apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Custos de investimento e produção agrícola em barragens subterrâneas no Brasil e África

Referência	Valor em R\$ de junho/2012)		Localização
	Investimento (Barragem e poço)	Investimento Produtivo Agrícola	
Oliveira (2001)	5.110,00 <sup>2</sup>	---	Ceará – Brasil
Waldir Duarte <sup>1</sup> - 2003	6.780,00 <sup>3</sup>	---	Região Nordeste - Brasil
Foster; Tuinhof (2004)	5.845,00 <sup>3</sup>	9.680,00	Pernambuco-Brasil
VSF(2006)	5.070,00 <sup>3</sup>	---	Quênia-África
Silva <i>et al.</i> (2007a)	3.720,00 <sup>3</sup>	---	Região Nordeste - Brasil
SEMARH (2012)	8.260,00 <sup>2</sup>	5.930,00	Rio G. Norte-Brasil
Embrapa (2014)	5.000,00 <sup>3</sup>	---	Região Nordeste - Brasil
Média	5.683,57		

Fonte: elaboração do autor

(<sup>1</sup>) Entrevista concedida à Universidade Livro do Meio Ambiente do Nordeste (Unieco), disponível em: < <http://ibps.com.br/tag/noticias/page/265/>>

(<sup>2</sup>) Valor estimado.

(<sup>3</sup>) Valor médio.

Para as barragens de pequeno porte (de 10.000 a 20.000 m<sup>3</sup>), estudadas nesta tese, os custos de implantação variaram de R\$ 3.720,00 a R\$ 8.260,00, a preços de junho de 2012. Tal amplitude pode ser explicada devido ao fato de que nas barragens de menor custo foram considerados apenas a construção da obra física (barragem e poço), ficando fora do orçamento os custos referentes aos estudos prévios de locação e aqueles destinados à capacitação dos beneficiários. Outra provável fonte de subestimação do custo real de construção da barragem é a assunção, por parte dos beneficiários, de custos com mão de obra própria na construção da barragem e do poço (SILVA *et al*, 2007a), ou seja, os beneficiários que trabalharam na construção da barragem não foram remunerados.

Waldir Duarte Costa, criador do modelo Costa & Melo, estimou o custo de construção da barragem subterrânea em R\$ 6.780,00, incluindo-se o poço. A Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH, 2012) estimou a construção da barragem e do poço em R\$ 8.260,00. Neste estudo, foram incluídos nos custos todos os itens de despesa, inclusive, custo indireto com a mão de obra do beneficiário. Esse projeto foi financiado pelo Banco Mundial e implantado na região do Seridó potiguar.

A ONG internacional Vétérinaires Sans Frontières (VSF) estimou o custo de implantação de uma barragem subterrânea, no Quênia, em R\$ 5.070,00. Essa barragem foi totalmente construída de forma manual, ainda assim, o custo de implantação ficou em torno da média. Considerando apenas as estimativas dos custos das barragens subterrâneas no Brasil, o custo médio foi de R\$ 5.785,00, inclusive com os custo do poço.

Cabe destacar, neste trabalho, o baixo custo da implantação de uma barragem subterrânea no Quênia, semelhante ao modelo Costa & Melo, que alcançou o valor de R\$ 5.070,00, visto ter sido totalmente construída de forma manual em uma região em que o valor da diária (mão de obra) é relativamente muito baixo em relação ao Brasil.

Em uma análise conjunta, excluindo-se a barragem do Quênia (fora do Brasil), tem-se um valor médio de R\$ 5.785,00, para a construção de uma barragem com o poço nos moldes do modelo Costa & Melo.

Quanto aos valores com investimento para produção agrícola (cercas e equipamentos), os dois valores, identificados na Tabela 1, refletem a realidade tanto

do Estado de Pernambuco (R\$ 9.680,00) e como do Rio Grande do Norte (R\$ 5.930,00).

Costa *et al* (2002) estimou a distribuição percentual de uso da água em uma barragem subterrânea: consumo humano, 6%; dessedentação de animais, 26%; uso doméstico, 44%; pequena irrigação sem bombeamento, 14%; pequena irrigação com bombeamento, 3%; e outros usos, 7%. Apesar dos autores não terem apresentado a metodologia para a obtenção destes dados, pode-se afirmar que os resultados refletem o uso satisfatório das barragens subterrâneas no semiárido do Ceará. Em termos agregados, constata-se que 50% da água é utilizada para consumo humano, 26% para consumo animal, 17% para agricultura (capineiras) e 7% para outros usos.

Os estudos sobre a exploração agrícola, oferta de água e impacto ambiental, em barragens subterrâneas, são escassos e imprecisos. Silva *et al.* (1998) apresentou uma conta cultural por hectare (valores corrigidos para dezembro de 2012), para exploração de feijão *caupi* (R\$ 297,00), milho (R\$ 261,00) e sorgo (253,75), em barragem subterrânea, localizada em Petrolina-PE. Também, apresentou a conta cultural para fruteiras (manga, graviola, limão, goiaba e acerola) no valor de R\$ 488,00 por hectare. Referidas culturas são irrigadas com água das barragens subterrâneas, porém, estão localizadas em áreas de mata ciliar e/ou áreas próximas às barragens.

Os valores de custeio agrícola, nas explorações feitas em barragem subterrânea, são relativamente mais baixos, tendo em vista tratar-se de exploração feita em regime de subirrigação e sem a aplicação de agrotóxicos. A propósito, a CONAB (2013) informa que os custos médios de produção de feijão e milho de sequeiro no Estado do Ceará foram de, respectivamente, R\$ 1.212,52 e 1.216,80.

França *et al.* (2012), por meio da análise custo-benefício, identificaram a viabilidade financeira de uma barragem subterrânea-padrão para o semiárido do Nordeste do Brasil. Para um volume de investimento de R\$ 14.717,00 (construção, cerca e equipamentos) e custos operacionais de R\$ 3.236,00/ano, a preços de dez-2012, aplicados na barragem, a taxa interna de retorno financeiro (TIR) foi de 60,6%; o índice de lucratividade de 58,0%; e o tempo de recuperação dos investimentos, em 3,5 anos; e renda líquida familiar de R\$ 865,16/mês. Portanto, a barragem subterrânea (e sua exploração) mostrou-se viável financeiramente, visto

que a magnitude da TIR encontrada foi maior do que a taxa de desconto de 6% considerada.

Cirilo *et al.* (2003) analisaram os indicadores financeiros de 19 barragens subterrâneas, implantadas da região de Mutuca-PE. Por meio da análise custo-benefício, os autores encontraram uma relação benefício-custo igual a unidade e uma taxa interna de retorno (TIR) de 6,48%, considerando um horizonte de 10 anos e uma taxa de desconto de 12% a.a. Nesse caso, as barragens subterrâneas mostraram-se financeiramente inviáveis.

Ferreira *et al.* (2011), utilizando indicadores ambientais e sociais para avaliar a sustentabilidade de uma barragem subterrânea no Assentamento Pedro Henrique, Solânia-PB, com área cultivada de 1 ha, observaram, em uma escala de 1 a 5, os seguintes resultados: para nível de sustentabilidade agroambiental de bom (4) a alto (5), observou-se produtividade agrícola, teor de matéria orgânica, diversidade da fauna e da flora, qualidade da água e dependência externa; para nível de sustentabilidade razoável (3), apenas a baixa qualidade natural do solo da bacia hidráulica da barragem. Os indicadores sociais, por sua vez, apresentaram o seguinte desempenho: níveis de bom a alto para utilização da mão de obra familiar, assimilação da tecnologia, resistências às secas e cheias, além de facilidade de distribuição das tarefas por idade e gênero. O único indicador com desempenho razoável (3) foi a fixação do jovem na terra.

Embrapa Solos realizou a avaliação do desempenho de barragens subterrâneas espalhadas no Semiárido (EMBRAPA, 2014). Para isso, utilizou o Sistema de Avaliação de Impacto Ambiental da Inovação Tecnológica Agropecuária (AMBITEC), desenvolvido pela Embrapa Meio Ambiente. Este método tem como base o conceito de desenvolvimento sustentável, tendo em vista que considera os impactos nos segmentos: econômico, ecológico, social e sobre o conhecimento das inovações tecnológicas (IRIAS *et al.*, 2004). Para cada segmento, os resultados são normalizados de modo que o maior valor observado, por segmento, passa a ser o referencial de comparação.

Para uma amostra de oito barragens subterrâneas pesquisadas, segundo Embrapa (2014), o ganho líquido unitário do agricultor foi de R\$ 1.998,00, em 2012, e o ganho de produtividade física foi quatro vezes superior ao da exploração agrícola convencional. Com relação ao segmento social, o indicador mais relevante foi a ocupação da mão de obra que obteve o valor máximo entre os indicadores

considerados no segmento, no caso 5, ficando a capacitação com o índice de 3,6 e a qualidade do emprego com 2,6. Quanto ao segmento ambiental, a avaliação mostrou que a água foi o indicador mais relevante com o índice de 5,7, enquanto a capacidade produtiva do solo ficou com 4,7 e a biodiversidade com 3,4.

Pelo exposto, constata-se que os estudos sobre indicadores de sustentabilidade e os benefícios socioeconômicos e ambientais das barragens subterrâneas ainda são escassas, razão pela qual a ampliação das pesquisas científicas nessa área são necessárias, para subsidiar a elaboração e monitoramento das políticas públicas e difundir tais conhecimento aos técnicos e beneficiários envolvidos com as barragens subterrâneas.

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os aspectos conceituais do desenvolvimento sustentável e de tecnologia social. Em seguida, apresenta-se a base metodológica dos indicadores de desenvolvimento sustentável, com destaque para o método do Painel de Sustentabilidade. Finalmente, discute-se os métodos de apoio à decisão, em particular, o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

#### 3.1 O enfoque de desenvolvimento sustentável

##### 3.1.1 Aspectos conceituais

O conceito de desenvolvimento sustentável foi utilizado pela primeira vez, em 1987, no Relatório Brundtland (ONU, 1991), elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas. O conceito de desenvolvimento sustentável abrange várias dimensões, centrando-se em um processo harmônico entre o crescimento econômico, a equidade social, a proteção do ambiente e a diversidade cultural.

Reforçando e ampliando o conceito do Relatório Brundtland, Sachs (2008, p. 16) afirma que:

“o desenvolvimento sustentável obedece ao duplo imperativo ético da solidariedade com as gerações presentes e futuras, e exige a explicitação de critérios de sustentabilidade social e ambiental e da viabilidade econômica. Estritamente falando, apenas as soluções que consideram estes três elementos, isto é, que promovam o crescimento econômico com impactos positivos em termos sociais e ambientais, merecem a denominação de desenvolvimento”.

A compreensão do que seja desenvolvimento sustentável é o pré-requisito para a elaboração de políticas públicas voltadas para a conservação do meio ambiente. Dessa forma, o conceito mais consagrado de desenvolvimento sustentável estabelece ser aquele que “satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (WCED, 1991, p. 43).

Em outras palavras, desenvolvimento sustentável significa a possibilidade que as pessoas, agora e no futuro, atinjam um nível satisfatório de desenvolvimento social e econômico e de realização humana e cultural, fazendo, ao mesmo tempo, um uso razoável dos recursos da terra e preservando as espécies e os *habitats* naturais.

Focalizando o conceito de desenvolvimento sustentável, Da Silva (2009, p. 210) ressalta o caráter holístico e interdisciplinar dessa abordagem ao registrar que:

A sustentabilidade significa e expressa a possibilidade e a imperiosa necessidade de harmonização entre justiça social, a prudência ecológica, a eficiência econômica e a cidadania presente nos processos de desenvolvimento, em todos os níveis e abrangência geográfica e em todas as dimensões da realidade em que se projeta a intervenção humana.

Da Silva (2009, p. 210), diz ainda que “essa é a nova orientação que tem sido construída para o desenvolvimento sustentável com base na perspectiva da convivência com o semiárido”. A zona semiárida do Brasil é caracterizada pela aridez do clima, pela deficiência hídrica, com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas, e pela presença de solos pobres em matéria orgânica.

Da Silva (2006, p. 161) descreve essa nova orientação para o desenvolvimento do semiárido, a partir dos trabalhos do Dr. José Otamar de Carvalho, ao expressar que essas novas abordagens:

Revelam uma sintonia com novas orientações técnicas, sociais e políticas, que valorizam as alternativas de desenvolvimento, tendo por base a possibilidade de convivência com a semiaridez. Essa nova perspectiva expressa não apenas o respeito e a harmonia com as condições ambientais do Semiárido, mas implica a realização de ações educativas sistemáticas visando à mudança de mentalidade dentro e fora da Região, na adoção de alternativas de inclusão social e na viabilização de novos processos políticos que possibilitem a efetiva participação dos diferentes atores sociais na formulação e gestão das políticas de desenvolvimento”

### 3.1.2 Dimensões

As dimensões básicas do conceito de desenvolvimento sustentável mais referenciadas na literatura são a econômica, a social e a ambiental (SACHS, 2008; BUTTIMER, 1998). No entanto, existem autores (GUTBERLET & GUIMARÃES, 2002; DA SILVA, 2009) que ampliam tais dimensões no intuito de não deixar sem realce aspectos relevantes do processo de desenvolvimento. Essas visões diferenciadas sinalizam que ainda há divergências conceituais sobre os significados e a abrangência da sustentabilidade do desenvolvimento.

Gutberlet e Guimarães (2002) reconfiguram os critérios de sustentabilidade definidos em Sachs (2009) em oito ações ou dimensões para a consecução do

desenvolvimento sustentável, apropriadas ao semiárido brasileiro, conforme citação a seguir:

- Sustentabilidade ecológica: refere-se à base física (natural) e tem como objetivos a conservação e o uso racional do estoque de recursos naturais incorporados às atividades produtivas;
- Sustentabilidade ambiental: refere-se à capacidade de suporte dos ecossistemas, em particular, à capacidade de absorver ou se recuperar das agressões derivadas das atividades humanas e alcançar um novo equilíbrio, entre as taxas de emissão e/ou produção de resíduos e as taxas de absorção e/ou regeneração da base natural dos recursos;
- Sustentabilidade demográfica: refere-se à relação entre as condições demográficas e o crescimento econômico; indica os limites da capacidade de suporte de determinado território e de sua base de recursos para uma dada população;
- Sustentabilidade cultural: refere-se à necessidade de manter a diversidade cultural, os valores e as práticas sociais que compõem, ao longo do tempo, as identidades dos povos;
- Sustentabilidade social: refere-se à melhoria da qualidade de vida, à redução das desigualdades e injustiças sociais e à inclusão social por meio de políticas de justiça redistributiva;
- Sustentabilidade política: refere-se à promoção da cidadania plena dos indivíduos por meio do fortalecimento dos mecanismos democráticos de formulação e implementação de políticas públicas, do âmbito local e global;
- Sustentabilidade institucional: refere-se à inclusão de critérios de sustentabilidade nos aparatos e nas práticas das instituições;
- Sustentabilidade econômica: refere-se às condições de viabilidade econômica de uma sociedade sustentável, condição necessária para sua sobrevivência; a relação entre custo e benefício das práticas produtivas e de consumo deve ser equilibrada para alcançar padrões sustentáveis.

Apesar de não haver consenso em torno da diversidade de dimensões, a essência conceitual das dimensões econômica, social, ambiental e político-institucional do desenvolvimento sustentável são as mais consagradas e incorporam conteúdos e enfoques das conceituações de Sachs (2009), Gutberlet e Guimarães (2002), bem como as de DA SILVA (2009), na forma apresentada a seguir:



#### a) Dimensão econômica

Preconiza a alocação das forças produtivas, na busca da eficiência econômica, compatíveis com a capacidade de suporte dos recursos naturais e com base em uma racionalidade produtiva, que valoriza as formas de exploração apropriadas aos ecossistemas, em que a relação entre os custos e os benefícios das práticas produtivas e de consumo sejam equilibradas, para um crescimento econômico harmônico e sustentável.

#### b) Dimensão social

Pressupõe o desenvolvimento como estratégia de melhoria da qualidade de vida, da redução das desigualdades sociais e da inclusão social, por meio de políticas de justiça distributiva, respeito à diversidade e à identidade cultural da população beneficiada.

#### c) Dimensão ambiental

Tem por base a transformação virtuosa das relações entre as pessoas e a natureza, considerando a conservação e o uso racional do estoque de recursos naturais (capacidade de suporte dos ecossistemas) nas atividades produtivas.

#### d) Dimensão político-institucional

Refere-se ao processo contínuo e participativo de conquista da cidadania por meio de mecanismos democráticos, assim como na capacidade de inserir critérios de sustentabilidade na formulação e implementação de políticas públicas.

### 3.1.3 Sustentabilidade e convivência com o semiárido

Na temática desta seção existem vários autores que abordam a problemática da convivência com o semiárido de forma sustentável. Alguns dos estudos que contribuem com esta abordagem são: Furtado (1981); Brasil (1995); Gomes (2001); Carvalho & Engler (2003); e Da Silva (2006).

Os condicionantes do semiárido do Ceará são discutidos em Pereira & Andrade (2010). Tais condicionantes determinam que a exploração de atividades agropecuárias no semiárido não seja feita com a adoção dos mesmos mecanismos e tecnologias de outras regiões agrícolas do Brasil.

Os fatores que parecem obstacularizar o desenvolvimento sustentável do semiárido são, geralmente, associadas à resistência do homem do campo em adotar as técnicas mais adequadas às condições climáticas, a desconsideração da aptidão dos recursos naturais e à adoção de políticas públicas, quase sempre, dissociadas das necessidades dos agricultores (PEREIRA & ANDRADE, 2010).

Para a possibilidade de a pequena propriedade rural do Ceará ser ineficiente ou o pequeno agricultor retrogrado, o economista americano Theodore Schultz, Prêmio Nobel de Economia, defende um tratamento adequado (progresso técnico) para que esse agricultor obtenha maior rentabilidade em sua propriedade. Nessa linha de pensamento, Schultz (1964, p. 15), assevera que:

O homem que exerce atividades rurais à semelhança de seus antepassados não pode produzir muitos alimentos, mesmo que a terra seja boa ou o trabalho intenso. O agricultor que tiver acesso ao progresso técnico pode produzir alimentos em abundância, mesmo que as condições naturais não sejam favoráveis. O conhecimento que permite essa transformação é uma forma de capital, desde que faça parte dos insumos usados pelos agricultores e sempre que constituir parte de suas habilidades e do seu poder.

Pelo exposto, conviver com o semiárido consiste em minimizar os impactos da atividade humana sobre o meio ambiente, por meio da adoção de práticas e métodos de produção agropecuária compatível com as possibilidades ofertadas pelo ambiente de semiaridez. Neste prisma, em Da Silva (2009, p. 212) é relatado que:

Um dos desafios atuais do semiárido brasileiro é a combinação dos princípios e valores da convivência, com a viabilização das atividades econômicas necessárias ao desenvolvimento econômico. Do ponto de vista da dimensão econômica, a convivência é a capacidade de aproveitamento sustentável das potencialidades naturais e culturais em atividades produtivas apropriadas ao meio ambiente.

Celso Furtado (1980) considera que o desenvolvimento deve ser concebido como um “projeto social”, com uma orientação política e social que possibilite a transformação global da sociedade.

O mesmo autor, agora com foco nos pressupostos do desenvolvimento sustentável, assevera que:

O crescimento econômico seria um instrumento a serviço dessa transformação, combinando a produção das riquezas necessárias à satisfação das necessidades de toda a população, com a incorporação de direitos (humanos, civis, culturais, sociais e econômicos), preservando o equilíbrio ecológico (FURTADO, 1980).

Na mesma linha de raciocínio de Furtado (1980), a convivência com o semiárido deve ser considerada, segundo Da Silva (2009, p. 217), como sendo:

Uma perspectiva cultural orientadora da promoção do desenvolvimento sustentável, cuja finalidade é a melhoria das condições de vida e a promoção da cidadania, por meio de iniciativas socioeconômicas e tecnológicas apropriadas, compatíveis com a preservação e renovação dos recursos naturais.

Ante o exposto, registre-se que a convivência sustentável da população rural com a zona semiárida deveria se pautar nos seguintes princípios de sustentabilidade (PEREIRA & ANDRADE, 2010):

- a) orientação sobre as políticas governamentais para a família rural em sintonia com a dotação dos recursos naturais e com as características do clima;
- b) adoção de tecnologias adaptadas ao semiárido visando, à produção de alimentos, à oferta de água e à ocupação da mão de obra durante a estação chuvosa e na estiagem;
- c) melhoria do bem-estar da família do agricultor em termos de saúde, segurança alimentar, capacitação e disponibilidade de água potável.

### 3.1.4 Tecnologias sociais e desenvolvimento sustentável

Para o Instituto de Tecnologia Social (ITS, 2004, p. 26), o conceito de tecnologia social diz respeito ao “conjunto de técnicas e metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para inclusão social e melhoria das condições de vida”.

Para Lassance *et al.* (2004, p. 60), a interdisciplinaridade e o envolvimento direto dos agentes beneficiários são as características básicas das tecnologias sociais. Neste sentido, os autores afirmam que:

Tecnologias sociais são, ao mesmo tempo, agrícolas, ecológicas, econômico-solidárias, porém, por serem multissetoriais, precisam de um amplo leque de articulação entre as organizações da sociedade e de várias

áreas governamentais, para garantir a plena realização de todas as suas dimensões.

Além do ITS, que se centra nos aspectos conceituais, essa abordagem vem sendo adotada por Dagnino (2002, 2004, 2009); pela Fundação Konrad Adenauer por meio de Kuster *et al* (2006); por Lassance *et al.* (2004) em estudo financiado pela Fundação Banco do Brasil; pela Embrapa (2001); e por Costa (2013).

As características das tecnologias sociais, estabelecidas em ITS (2004), são as seguintes:

- a) objetivo dessa tecnologia: atender as demandas sociais concretas vividas e identificadas pela população;
- b) processo de tomada de decisão: a escolha da tecnologia é feita de forma democrática e desenvolvido a partir de estratégias especialmente dirigidas à mobilização e à participação da população;
- c) papel da população: envolve a participação, apropriação e aprendizado por parte da população e de outros atores envolvidos;
- d) etapas de execução: o planejamento é participativo e a sistematização de conhecimento é feita de forma organizada;
- e) construção do conhecimento: resulta na produção de novos conhecimentos a partir da prática;
- f) sustentabilidade: visa à sustentabilidade econômica, social e ambiental;
- g) ampliação de escala: gera aprendizagem que serve de referência para novas experiências.

As entidades, no Brasil, que difundem e apoiam a implantação das tecnologias sociais são:

- a) Fundação Banco do Brasil (FBB): financia projetos, exerce o papel de articuladora social e certificadora de tecnologias sociais;
- b) Centro Brasileiro de Referência em Tecnologias Sociais (CBRTS): objetiva promover o desenvolvimento sustentável, participativo e democrático por meio de tecnologias sociais. É um projeto do Instituto de Tecnologia Social (ITS).
- b) Fundação Avina: é uma articuladora, coinvestidora e incubadora de empresas centrada em processos colaborativos com parceiros e líderes sociais da América Latina.

Apesar de esforço das entidades, observa-se que essas iniciativas ficam restritas aos “casos-piloto” e confinadas em determinada localidade e/ou aplicação particular. Tal quadro tem reduzido o potencial transformador do conhecimento tangível por estas tecnologias (BARROS; BAGNO, 2014).

As tecnologias rurais que conseguiram se estabelecer no semiárido (barragens subterrâneas, cisternas, agricultura de vazante, mandalas, barreiro de salvação, quintais produtivos, etc.) são experiências concebidas e/ou incorporadas pela população local, que foram assumidas por organizações governamentais e do terceiro setor, transformando-se em políticas públicas.

As tecnologias sociais de manejo simultâneo de solo, água e planta, frequentemente encontradas no semiárido brasileiro, são: barragens subterrâneas, barragens de contenção de sedimentos e cultivo tradicional de vazantes.

Reportando-se ao acervo de tecnologias sociais e conhecimentos gerados pelas instituições regionais de pesquisa para as condições naturais e antrópicas do Semiárido, Porto (2009, p. 170) refere-se às barragens subterrâneas ao afirmar que:

Estão disponíveis tecnologias que induzem a um uso racional da água da chuva para consumo humano, animal e vegetal. Tecnologias como cisterna rural, barreiro de salvação, captação *in situ*, barragem subterrânea, cultivo de vazante em curva de nível, não só dão melhor qualidade de vida ao homem do campo, como, também, potencializam a manutenção de um balanço hídrico equilibrado, durante os ciclos dos cultivos, reduzindo significativamente as chances de perdas agrícolas por deficiência hídrica.

A barragem subterrânea é uma tecnologia social, tendo em vista que se enquadra nos postulados de tecnologia social estabelecidos pelo Banco Mundial, conforme é preconizado em sua política para o manejo de recursos hídricos. Essa política, em primeiro lugar, estabelece que o manejo eficaz de recursos de água requer uma abordagem holística, ligando o desenvolvimento social e econômico com a proteção dos ecossistemas naturais. Em segundo lugar, o desenvolvimento e o manejo da água devem ser baseados em uma abordagem participativa, envolvendo usuários, planejadores e formadores de opinião em todos os níveis. Em terceiro lugar, tanto mulheres quanto homens têm um papel fundamental no fornecimento, no manejo e no uso econômico da água. O manejo integrado de recursos hídricos é baseado na percepção da água como parte integrante do ecossistema, um recurso natural e social e um bem econômico (BANCO MUNDIAL, 1993).

A relevância do tema do presente estudo, barragem subterrânea, ganha maior importância em razão de a Fundação Banco do Brasil ter certificado, formalmente, a barragem subterrânea como Tecnologia Social, em evento ocorrido em Fortaleza, no ano de 2013, a partir de uma proposta apresentado pela Embrapa Solos (FBB, 2013).

Das três tecnologias, discutidas nos itens precedentes, a barragem subterrânea é a que tem recebido mais apoio governamental, sendo o motivo pelo qual tem sido disseminada em todo semiárido nordestino, nestes últimos cinco anos. É, também, a que apresenta resultados positivos e negativos mais significativos, em relação às demais. Então, a tecnologia social “barragem subterrânea” é o tema da presente tese em função da sua relevância como política pública, da sua importância estratégica para o semiárido do Ceará, dos graves problemas que vem ocorrendo, nas fases de construção e exploração, e da escassez de estudos sobre a viabilidade da barragem subterrânea em termos técnicos, econômicos e sociais.

#### a) Barragem subterrânea

Ferreira *et al.* (2011, p. 20) conceituam a barragem subterrânea de forma bem consentânea com o enfoque de tecnologia social, centrado no pressuposto básico do envolvimento da família do agricultor, ao afirmar que:

As barragens alteram práticas ecológicas, sociais e econômicas, porém, essas mudanças podem ser positivas ou negativas, uma vez que dependem, dentre outros fatores, da apropriação da tecnologia pela família agricultora, pois são os componentes da família que, enquanto atores, promovem as transformações em seus agroecossistemas. Sem a apropriação pela família a tecnologia não funciona, não é utilizada e não cumpre sua função ecológica, social e econômica dentro da propriedade.

A aderência da barragem à concepção de desenvolvimento sustentável e tecnologia social alicerça-se no fato de possibilitar a exploração simultânea e harmônica de solo, água e planta; gerar ganhos ambientais; democratizar a oferta de água; ocupar a mão de obra familiar na entressafra; envolver os beneficiários na construção e na utilização do empreendimento; produzir alimentos para o homem e para os animais, enfim, é uma inovação técnico-social que visa o bem-estar do homem do campo (ARAÚJO *et. al.*, 2004; PORTO, 2009; FBB, 2013).

#### b) Barragens sucessivas de contenção de sedimentos

As barragens sucessivas de contenção de sedimentos são estruturas construídas com pedras soltas, cuidadosamente arrumadas em formato de arco romano deitado, realizada na rede de drenagem da microbacia hidrográfica, objetivando a retenção dos sedimentos gerados nos processos erosivos das áreas cultivadas e das áreas trabalhadas para outros fins, como em construção de estradas.

“As barragens sucessivas, quando construídas com a finalidade de reter água, sedimentos e possibilitar exploração agrícola é referendada por Kuster *ET al.* (2006, p. 164)“ ao afirmarem que “as barragens de retenção de sedimentos podem ser instrumentos de gestão dos recursos naturais, retendo sedimentos à montante dos reservatórios estratégicos e gerando manchas de solos agriculturáveis. Tais obras promovem o equilíbrio ecológico, assim como o aumento da produtividade agrícola de sequeiro e da oferta de água, com notável impacto social”.

As principais vantagens das barragens sucessivas de pedra, segundo Costa (2010) e Oliveira *et al.* (2010a), são:

- evitar o assoreamento e/ou a sedimentação gradativa dos leitos dos rios e dos açudes nas microbacias;
- promover a melhoria da qualidade de água nos tributários e nos açudes das microbacias;
- proporcionar o ressurgimento de diversas formas de vida vegetal (mata ciliar) e animal;
- aumentar a disponibilidade de água no solo nas microbacias;
- proporcionar disponibilidade de água para o consumo animal, segundo uma distribuição temporal e espacial satisfatória;
- proporcionar, nos terraços sedimentados, a exploração agrícola e pecuária diversificada.

As dificuldades mais marcantes, verificadas com a implantação dessas barragens, são relatadas em Oliveira *et al.* (2010a, p. 29-30), quando informam que “há carência de pessoal técnico treinado, ausência de estudos *in loco*, necessidades de reparos anuais, deficiência na identificação e no envolvimento, *a priori*, dos

beneficiários, estrutura fundiária minifundista e absenteísmo dos proprietários da terra beneficiada”.

Tal prática foi implantada, de forma integrada com outras técnicas, nas áreas do Programa de Desenvolvimento Hidroambiental (PRODHAM), nos municípios cearenses de Canindé, Aratuba, Pacoti/Palmácia e Paramoti, em que foram construídas 3.332 barragens sucessivas de contenção de sedimentos, no período de 2001 a 2009 (OLIVEIRA *et al.*, 2010a).

A Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) realizou monitoramento hidrossedimentológico, em 2008, na área de Canindé e obteve valores médios para oito microbarramentos, de 8,37 m<sup>3</sup> de acumulação de sedimentos, para uma área média de 45,6 m<sup>2</sup> (SRH-CE/FUNCEME, 2010). Observou-se, nessas bacias, o reaparecimento de olhos d'água, animais silvestres e atividades produtivas.

Segundo Costa (2010), as oito barragens sucessivas monitoradas na microbacia do rio Cangati, Canindé-Ce, contribuíram efetivamente para a melhoria das condições geoambientais e humanas. A participação dos agricultores, na construção e na utilização da infraestrutura hidroambiental, foi decisiva para o processo de empoderamento e a melhoria das condições de vida das comunidades locais.

#### c) Agricultura de vazante

A agricultura de vazante, praticada quando cessam as chuvas, consiste em cultivar nas faixas de terras, situadas às margens úmidas dos açudes, barragens, lagoas e leitos dos rios e riachos, em declive suave, à medida que a água vai baixando (ANTONINO; AUDRY, 2001).

Apesar de ser uma prática secular, na zona semiárida brasileira, deixada pelos indígenas como herança cultural, a agricultura de vazante ainda é pouco explorada, *vis-à-vis* o grande potencial de áreas aptas para essa prática (ANTONINO; AUDRY, 2001).

A exploração das áreas de vazantes, feitas no período de estiagem (verão), consiste no manejo do solo, da água e da planta (cultivos agrícolas), com a utilização da prática da subirrigação e curva de nível. As principais culturas exploradas são a da batata doce, de arroz, de feijão, de milho e as forrageiras.



A baixa produtividade agrícola, obtida nas vazantes localizadas na zona semiárida do Brasil, deve-se ao inadequado manejo do solo e da água, caracterizado pela abertura das covas, feitas diretamente no solo natural, com elevado nível de saturação de água, não sendo construídos os sulcos e camalhões, em curva de nível, nem utilizada a tração animal. Este baixo desempenho das vazantes pode ser decorrente da não adoção da principal técnica de manejo (curvas de nível) para este tipo de exploração. A propósito, Porto *et al.* (1999, p. 9) afirma que “é reconhecida a relutância dos produtores do semiárido em trabalhar com curva de nível”.

Objetivando racionalizar o manejo da água e do solo das áreas de vazantes do Nordeste semiárido, pesquisadores da Embrapa Semiárido desenvolveram um método simples de marcação de curva de nível, sem a ajuda de equipamentos. Apesar da disponibilização dessas técnicas, sua utilização é pouco expressiva em razão da baixa difusão (ARAÚJO *et al.*, 2004).

As três tecnologias analisadas têm em comum o manejo simultâneo do solo, da água e da planta, a aderência ao semiárido do Nordeste do Brasil e a adequação à agricultura familiar. Mesmo com tais identidades, há diferenças marcantes quanto ao nível de adoção, a prioridade nas políticas públicas e ao impacto na geração de emprego e renda (ANTONINO & AUDRY, 2001; COSTA, 2010; CIRILO *et al.* 2003).

### **3.2 Indicadores de desenvolvimento sustentável**

No eixo da sustentabilidade, a visão de desenvolvimento sustentável que orienta este estudo é a defendida por Sachs (2009) e Gutberlet & Guimarães (2002). Em geral, a linha que vem traduzindo o desenvolvimento sustentável com mais frequência consiste em harmonizar as dimensões econômica, social, ambiental e institucional. Do ponto de vista metodológico, o desafio está em mensurar a efetividade das várias dimensões do desenvolvimento sustentável.

Uma das formas, amplamente utilizada, consiste no estabelecimento de indicadores que reflitam os objetivos e metas do grau de desenvolvimento sustentável.

A propósito, a Agenda 21, em seu capítulo 40, ressalta a importância de construir indicadores de desenvolvimento sustentável quando afirma que:

É preciso desenvolver indicadores do desenvolvimento sustentável que sirvam de base sólida para a tomada de decisão em todos os níveis e que contribuam para uma sustentabilidade autorregulada dos sistemas integrados de meio ambiente e desenvolvimento (CÂMARA DOS DEPUTADOS, 1996, p. 466).

Indicadores são métricas que sinalizam necessidades e prioridades para formulação, monitoramento e avaliação de políticas e programas e, por sua capacidade analítica, facilitam o entendimento e a tomada de posição por parte de um crescente público envolvido com o tema. Para uma conceituação mais ampliada de indicadores, recorre-se a Rametsteiner *et al.* (2011 *apud* SILVA *et al.*, 2013, p. 215), que afirmam que:

Os indicadores vão além da descrição das condições atuais ou tendências. Eles criam uma compreensão e discernimento sobre como o ser humano e/ou sistemas ambientais operam, eles sugerem a natureza da intensidade de ligações entre diferentes componentes dos sistemas estudados e oferecem um melhor entendimento de como as ações afetam as diferentes dimensões da sustentabilidade: economia, meio ambiente e questões sociais.

### 3.2.1 Aplicação de índice de desenvolvimento sustentável

A Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável aprovou, em 1995, um elenco de indicadores de desenvolvimento, objetivando servir de referência para os países em desenvolvimento e/ou para revisão dos indicadores até então vigentes. Após a revisão, efetuada em 2007, o quadro atual de indicadores conta com 14 temas, sendo que cada um deles divide-se em diversos subtemas.

Os 14 temas de referência são: pobreza; perigos naturais; o desenvolvimento econômico; governança; meio ambiente; parceria econômica global; saúde; terra; padrões de consumo e produção; educação; os oceanos, mares e costas; demografia; água potável, escassez de água e recursos hídricos; além de biodiversidade (ONU, 2006).

Assim como a Organização das Nações Unidas (ONU), outras entidades internacionais elaboraram modelos de indicadores de desenvolvimento, com destaque para a Comissão Europeia, a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e Global Environment Outlook (GEO) (VAN BELLEN, 2005). No Brasil, por sua vez, o IBGE (2008) catalogou 60 indicadores de desenvolvimento sustentável para o país. Os indicadores de desenvolvimento

sustentável, criados pelo IBGE, e publicados desde 2002, integram-se ao esforço internacional decorrente da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, objetivando metrificar a relação entre meio ambiente, sociedade, desenvolvimento e informações para a tomada de decisões. Os indicadores do IBGE contemplam a realidade brasileira, por meio de indicadores focados nas dimensões ambiental, social, econômica e institucional.

Segundo o IBGE (2008), seus indicadores disponibilizam informações sobre uso dos recursos naturais, qualidade ambiental, satisfação das necessidades humanas, qualidade de vida e justiça social, desempenho macroeconômico e financeiro, uso de energia, bem como sobre a capacidade e os esforços institucionais realizados, com vistas às mudanças necessárias para a implementação do desenvolvimento sustentável.

Utilizando o Painel de Sustentabilidade como referência, pesquisadores da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Embrapa Milho e Sorgo e Universidade Federal de Minas Gerais (FERREIRA *et al.* (2012) estabeleceram um sistema, denominado de Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) para a propriedade rural. Um conjunto de 23 indicadores foram estabelecidos, os quais abrangeram aspectos econômicos e sociais, gerenciamento do estabelecimento, qualidade do solo e da água, manejo dos sistemas de produção e diversificação da paisagem e estado de conservação da vegetação nativa. Cada indicador assumiu valor entre 0 a 1, sendo que o índice 0,7 foi adotado como o valor de referência para um bom desempenho ambiental, social ou econômico. A média aritmética simples, dos 23 indicadores de sustentabilidade, resulta em um índice final do estabelecimento avaliado.

O sistema ISA já foi aplicado em, aproximadamente, 500 estabelecimentos rurais, em diferentes regiões do Estado de Minas Gerais, obtendo-se o índice 0,73, acima, portanto, da linha de referência (0,70), correspondente ao bom desempenho ambiental, econômico e social (COSTA, *et al.*, 2013). Os mesmos autores registram que a ferramenta mostrou-se sensível para detectar as potencialidades e fragilidades, apresentadas pelas propriedades, o que a qualifica como um importante método de gestão da sustentabilidade do estabelecimento rural. Como limitante, neste início de disseminação do Sistema ISA, pode ser arrolado a necessidade de equipe interdisciplinar para a pesquisa de campo; o custo com a coleta e

sistematização dos resultados; e a carência de pessoal treinado para atender a demanda potencial.

Estudos utilizando o método Painel de Sustentabilidade em análise de tecnologias sociais, inclusive barragens subterrâneas, não foram encontrados na literatura disponível, mesmo sabendo-se da grande utilidade dessas análises para subsidiar os agentes governamentais. Os estudos selecionados, que utilizam o Painel (BENETTI, 2006; CAMPOS *et al.* 2008; CLEMENTE *et al.* 2011; KRAMA 2009; VAN BELLEN, 2005), referem-se à busca de indicadores de desenvolvimento para países, regiões, estados e municípios. O presente trabalho inova na utilização deste método, ao usá-lo para uma tecnologia ou empreendimento de dimensão microeconômica. Saliente-se, no entanto, que essa possibilidade é prevista no arcabouço teórico do método Painel de Sustentabilidade.

### 3.2.2 Aspectos conceituais e caracterização

O uso de indicadores de referência tem sido cada vez mais empregados pelos gestores públicos, privados e do terceiro setor que atuam na formulação, na implementação e no monitoramento de políticas e programas governamentais.

Indicadores validados, calibrados e homologados são úteis para orientar as estratégias de regulação da pressão das demandas, melhorar a eficiência e a eficácia da ação governamental. Os indicadores devem ser adequados às características do meio ambiente, da socioeconomia, da cultura local e das estratégias governamentais (CARNEIRO *et al.*, 2008).

Para Sanchez; Matos (2012) os indicadores de sustentabilidade são concepções teóricas que propõem estruturas analíticas flexíveis para fundamentar o processo de análise da sustentabilidade de uma atividade econômica, incluindo as etapas de seleção, desenho e interpretação, assim como a organização dos dados e a comunicação dos resultados finais. Constituem a base lógica que permite guiar o processo de análise da sustentabilidade e propiciam a geração de resultados, que permitem orientar o desenvolvimento de políticas e programas e a promoção da sustentabilidade.

Para Hardi e Zdan (2000), existem alguns critérios que devem orientar a escolha dos indicadores. Estes critérios decorrem da experiência prática e do conhecimento teórico, acumulado pelo grupo que trabalha no desenvolvimento

dessa ferramenta. Os critérios que fornecem uma orientação básica para a escolha dos indicadores mais apropriados, na perspectiva desses especialistas, são:

- relevância política: o indicador deve estar associado com uma ou várias questões que são relevantes para a formulação de políticas;
- simplicidade: a informação deve ser apresentada de uma maneira compreensível e fácil para a audiência proposta;
- validade: os indicadores devem realmente refletir os fatos, ou seja, os dados devem ser coletados de maneira científica, possibilitando sua verificação e reprodução;
- série temporal de dados: deve-se procurar observar as tendências ao longo do tempo;
- disponibilidade de dados de boa qualidade: devem existir atualmente, ou no futuro próximo, dados de boa qualidade disponíveis a um custo razoável;
- habilidade de agregar informações: indicadores referem-se às dimensões da sustentabilidade;
- sensibilidade: os indicadores selecionados devem ter a capacidade de identificar ou detectar mudanças no sistema;
- confiabilidade: deve-se alcançar o mesmo resultado efetuando-se duas ou mais medidas do mesmo indicador.

### 3.2.3 Sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável

Van Bellen (2002) relatou mais de uma dezena desses métodos para mensurar o grau de sustentabilidade do desenvolvimento. No entanto, três sistemas de indicadores de sustentabilidade são amplamente reconhecidos internacionalmente, por especialistas da área ambiental, quais sejam: Pegada Ecológica (*Ecological Footprint Method*), Painel de Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*) e o Barômetro de Sustentabilidade (*Barometer of Sustainability*).

A consistência técnica e a ampla utilização prática de sistema de indicadores já consagrados, associados à adequação ao tema desta tese, dispensaram a necessidade de propor um sistema próprio de indicadores para este estudo.

#### 3.2.3.1 Método da Pegada Ecológica

Criado pelos especialistas William Rees e Mathis Wackernagel na década de 1990, tendo sido apresentado no livro Pegada Ecológica (WACKERNAGEL; REES, 1996), consiste em estabelecer a área, de um espaço ecológico, necessária para a

sobrevivência de uma determinada população ou sistema, que permite o fornecimento de energia e recursos naturais e seja capaz de absorver os resíduos ou dejetos do sistema. Emprega apenas uma dimensão, a ecológica, para realizar os cálculos necessários e possui pouca influência nos tomadores de decisão (VAN BELLEN, 2002).

Um dos componentes mais importantes da Pegada Ecológica é a medida do consumo e emissões de dióxido de carbono, tanto de indivíduos como de países. Esta medida é registrada pela Global Footprint Network (GFN), em termos de hectares de terra e mar, necessários para produzir o total de carbono consumido e emitido (BECKER *et al.*, 2012).

O cálculo da Pegada é feito a partir da produtividade média de seis tipos de usos de recursos naturais: terra arável, floresta, pasto, áreas construídas, sequestro de carbono e áreas pesqueiras. A GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (2010) considera que, em 2008, o mundo tinha terra e mar produtivos equivalente a 1,8 hectare global por pessoa.

### 3.2.3.2 Painel de Sustentabilidade

O Painel de Sustentabilidade (*dashboard of sustainability*) é um índice desenvolvido pelo International Institute for Sustainable Development (HARDI; ZDAN, 2000), que representa a sustentabilidade de um sistema, englobando a média de vários indicadores com pesos iguais, catalogados em quatro categorias de desempenho: econômica, social, ambiental e institucional. Os indicadores de referência estão apresentados no Quadro 1.

O Painel de Sustentabilidade utiliza representação gráfica e escala de cores para comparar o desempenho dos indicadores. A escala de cores varia do vermelho-escuro (resultado crítico), passando pelo amarelo (médio) até chegar ao verde-escuro (resultado positivo). Dentre os três modelos de indicadores avaliados, este é o único que considera quatro dimensões para estimar o índice de sustentabilidade, além de ser visualmente atraente (VAN BELLEN, 2005).

Em uma análise comparativa do desenvolvimento sustentável nos 27 estados brasileiros, no período 2002-2008, Krama (2008) adotou como referencial metodológico o Painel de Sustentabilidade, fornecido pelo *International Institute for Sustainable Development*. Dos resultados obtidos, entre as dimensões, as maiores

diferenças encontradas, para o Brasil, foram notadas no intervalo do primeiro para o segundo ano, mas tenderam ao equilíbrio no decorrer da pesquisa. Quanto aos estados, ficou evidenciada a disparidade entre os estados das regiões Sul e Sudeste do Brasil, avaliados como os melhores, contra os baixíssimos índices obtidos pelos estados das regiões Norte e do Nordeste.

Quadro 1. Indicadores de fluxo e estoque do Painel de Sustentabilidade

Dimensão	Indicadores
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mudança climática</li> <li>• Depleção da camada de ozônio</li> <li>• Qualidade do ar</li> <li>• Agricultura</li> <li>• Florestas</li> <li>• Desertificação</li> <li>• Urbanização</li> <li>• Zona costeira</li> <li>• Pesca</li> <li>• Quantidade de água</li> <li>• Qualidade da água</li> <li>• Ecossistema</li> <li>• Espécies</li> </ul>
Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice de pobreza</li> <li>• Igualdade de gênero</li> <li>• Padrão nutricional</li> <li>• Saúde</li> <li>• Mortalidade</li> <li>• Condições sanitárias</li> <li>• Água potável</li> <li>• Nível educacional</li> <li>• Alfabetização</li> <li>• Moradia</li> <li>• Violência</li> <li>• População</li> </ul>
Econômica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desempenho econômico</li> <li>• Comércio</li> <li>• Estado financeiro</li> <li>• Consumo de materiais</li> <li>• Consumo de energia</li> <li>• Geração e gestão de lixo</li> <li>• Transporte</li> </ul>
Institucional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implantação de estratégias do desenvolvimento sustentável</li> <li>• Cooperação internacional</li> <li>• Acesso à informação</li> <li>• Infraestrutura de comunicação</li> <li>• Ciência e tecnologia</li> <li>• Desastres naturais – preparo e resposta</li> <li>• Monitoramento do desenvolvimento sustentável</li> </ul>

Fonte: Adaptado por Van Bellen (2002, p. 130) de Consultative Group on Sustainable Development Indices. International Institute for Sustainable Development.

Campos *et al.* (2008) analisaram a sustentabilidade da produção tradicional e orgânica de frutas dos agricultores familiares do município de Itapuranga-GO, por meio dos indicadores do Painel de Sustentabilidade. Os resultados mostraram que o sistema de fruticultura orgânica obteve o Índice de Desenvolvimento Sustentável Global (IDS) com um desempenho razoável. Isto indica que a implantação da fruticultura orgânica em Itapuranga, junto aos agricultores familiares, já dá sinais de que a fruticultura está sendo desenvolvida em bases mais sustentáveis.

O fato de não se ter encontrado estudos, centrados no tema desta tese, que utilizassem o método em tela, justifica a utilização do Painel de Sustentabilidade e lhe confere um caráter pioneiro e original, por utilizar o Painel em análise de uma tecnologia social, quando a literatura registra apenas estudos para países, regiões, estados e municípios. Na verdade, o artigo de Campos *et al.* (2008) é aplicado a dois sistemas de produção e se aproxima da ideia desta tese.

Ademais, o método do Painel de Sustentabilidade se mostra bastante adequado ao tema desta tese, dentre os métodos já consagrados, pois contempla as quatro dimensões do desenvolvimento sustentável (econômica, social, ambiental e institucional), fato não presente nos métodos da Pegada Ecológica e Barômetro da Sustentabilidade, conforme é mostrado no final desta seção.

### 3.2.3.3 Barômetro da Sustentabilidade

É uma maneira sistemática de combinar diversos indicadores, que, quando apresentados isoladamente, mostram apenas a situação do tema que eles representam, enquanto o Barômetro da Sustentabilidade revela a situação do local em relação ao desenvolvimento sustentável, permitindo comparar as condições socioeconômicas e do ambiente físico-biótico

Foi desenvolvido pelo pesquisador Prescott-Allen (2001) visando contemplar, de forma integrada, as dimensões ambiental e social. O Barômetro da Sustentabilidade, também chamado de Índice de Bem-Estar (Quadro 2), visa sinalizar às pessoas a darem maior atenção às questões relacionadas ao bem-estar humano e ambiental, sendo que os resultados analisados fornecerão, aos gestores e ao público em geral, subsídios sobre o estado do meio ambiente e social. Pode ser aplicado desde a escala local até a global, permitindo comparações entre diferentes locais e ao longo de um horizonte temporal.



Quadro 2 – Indicadores de referência do Barômetro de Sustentabilidade são:

Dimensões	Indicadores
Bem-estar ecológico	Terra Água Ar Espécies e genes Utilização dos recursos naturais
Bem-estar humano	Saúde e população Riqueza Conhecimento e cultura Comunidade Equidade

Fonte: Prescott-Allen (2001)

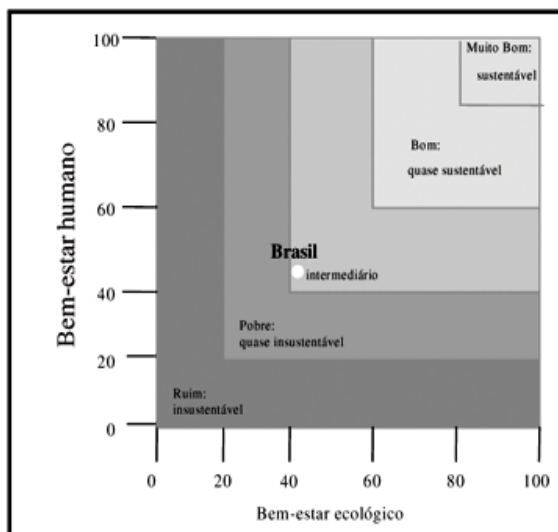
Este método possibilita, por meio de uma escala de desempenho, a comparação de diferentes indicadores representativos do sistema, permitindo uma visão geral do estado da sociedade e do meio ambiente. Os indicadores de referência do Barômetro de Sustentabilidade estão apresentados no Quadro 2.

O Método é caracterizado por um gráfico bidimensional (Figura 6), em que as escalas em cada eixo variam em uma escala de 0 a 100. Cada eixo é dividido em cinco setores que correspondem a 20 pontos cada, a saber: Insustentável (0-20); Potencialmente Insustentável (21-40); Intermediário (41-60); Potencialmente Sustentável (61-80); e Sustentável (81-100) (VAN BELLEN, 2002). As limitações mais destacadas, por Van Bellen (2002), são a subjetividade da escolha das variáveis e a ponderação dos indicadores.

Dentre os três modelos de indicadores de sustentabilidade, apontados como os mais importantes por Van Bellen (2005), selecionou-se o Painel de Sustentabilidade por ser o mais compatível com o conceito de desenvolvimento sustentável, pelas quatro dimensões incorporadas. A Pegada Ecológica e o Barômetro não se adequam aos objetivos deste tese porque contemplam apenas algumas das dimensões do desenvolvimento sustentável.

Tal seleção baseou-se no fato de que o presente estudo envolve as dimensões ambiental, institucional, econômica e social, abordagens presentes apenas no método de Painel da Sustentabilidade.

Figura 6. Posição do Brasil no Barômetro da Sustentabilidade



Fonte: Prescott-Allen (2001)

### 3.3 Painel de Sustentabilidade

O Painel de Sustentabilidade, segundo Van Bellen (2002), foi proposto no início dos anos de 1990 com o objetivo de oferecer uma ferramenta robusta de indicadores de sustentabilidade que fosse aceita internacionalmente. Em 2015, as pesquisas sobre o Painel de Sustentabilidade eram lideradas pelo *Consultative Group on Sustainable Development Indicators* (CGSDI), um grupo formado por uma rede de instituições, que atuam na área de desenvolvimento e utilizam sistemas de indicadores de sustentabilidade.

De forma mais objetiva, Van Bellen (2002, p. 124), conceitua o Painel de Sustentabilidade como sendo:

Um índice agregado de vários indicadores dentro de cada um dos mostradores do modelo; a partir do cálculo desses índices deve-se obter o resultado final de cada mostrador. Uma função adicional calcula a média destes mostradores para que se possa chegar a um índice de desenvolvimento sustentável global (IDS).

O Painel foi concebido em analogia a um painel de um automóvel, em que um conjunto de instrumentos de controle auxilia o motorista. Hardi; Zdan (2000) utilizam esta metáfora no sentido de ajudar na simplificação dos elementos de um sistema, por meio de uma comunicação e entendimento mais fácil e objetivo.

Enriquecendo o entendimento do que seja o Painel de Sustentabilidade, Campos *et al.* (2008), destacam que o Painel foi concebido para informar aos tomadores de decisão, à mídia e ao público em geral a situação de desenvolvimento de um determinado sistema (continental, nacional, regional, local e organizacional) em relação à sua sustentabilidade.

O desempenho de um sistema pode ser avaliado a partir de diferentes perspectivas. Para Van Ballen (2002) são três:

- a comparação com países ou cidades similares;
- a comparação de desempenho no tempo;
- comparação dos objetivos estabelecidos com os resultados.

As principais vantagens do Painel estão relacionadas com a facilidade do cálculo das médias aritméticas simples e possibilitar a apresentação dos resultados de forma clara e de fácil compreensão. As desvantagens, por sua vez, dizem respeito ao fato de que as dimensões têm o mesmo peso para a composição do resultado final (VAN BELLEN, 2002). Os autores do Painel, por seu turno, registram que, nas suas versões futuras, utilizarão ponderações compatíveis com a representatividade das dimensões e dos indicadores.

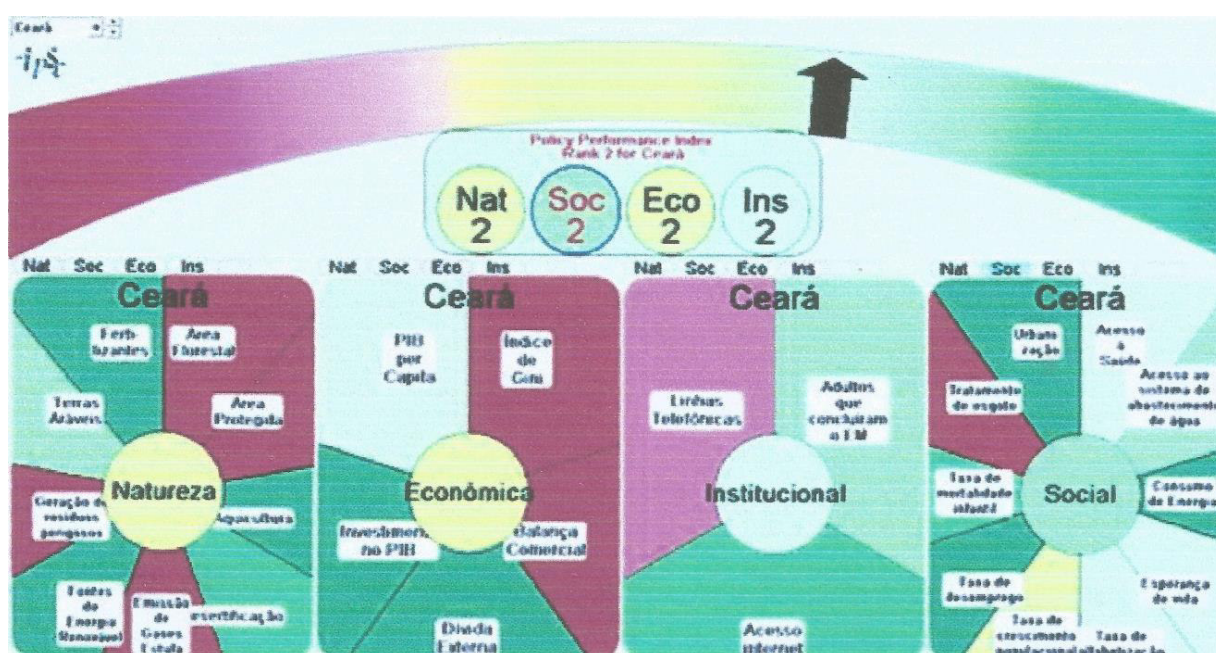
Para ilustrar a aplicação do Painel são apresentados dois estudos realizados para a realidade brasileira. Um é feito para o Estado do Ceará e o outro para um município do Estado de Santa Catarina. No primeiro estudo, Clemente *et al.* (2011) avaliaram o Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDS) para o Estado do Ceará, utilizando o método do Painel de Sustentabilidade. Como resultado, identificaram que o IDS do Ceará obteve um desempenho considerado “bom”, com pontuação de 586 (o método estabelece 1.000 como índice máximo), sendo que as dimensões social e ambiental foram as que mais influenciaram o índice, tanto de forma positiva como negativa.

No segundo estudo, por sua vez, Benetti (2006) encontrou o Índice de Desenvolvimento Sustentável para o município de Lages, Santa Catarina. Conforme os resultados obtidos na análise, o município de Lages encontra-se com desempenho médio de sustentabilidade, mas se aproximando muito dos valores tidos como ideais (teto máximo). Entretanto, ressalta-se que a maior contribuição da

adoção desta metodologia não está somente no cálculo do IDS, mas na identificação das principais vulnerabilidades e potencialidades apresentadas pelo município.

A representação gráfica do Painel de Sustentabilidade é feita por meio de um painel visual de quatro *displays*, relógios ou *pizzas*, que corresponde as quatro dimensões ou grupos de indicadores de desenvolvimento. Tais *pizzas* mensuram o desempenho dos indicadores econômicos, sociais, ambientais e institucionais de um país, região, município e empreendimento, por meio da escala de cores apresentada na Figura 8. O segundo nível é o índice de desenvolvimento sustentável (IDS) de cada uma das quatro dimensões mensuradas, também, por meio de cores. As cores e os valores correspondentes resultam da média aritmética dos valores obtidos pelos indicadores da referida dimensão. O terceiro nível é representado por um arco-íris, com mensuração de zero (cor vermelho escuro) a 1.000 (cor verde escura), e representa o índice de desenvolvimento sustentável global (IDSG), indicado por uma seta. A representação visual deste painel é mostrada na Figura 7.

Figura 7 - Visão geral do Painel de Sustentabilidade



Para a interpretação dos resultados faz-se necessário os seguintes procedimentos:

- Desempenho: é a escala de cores (Figura 8) proposta pelo método. Esta escala reflete o desempenho relativo de uma variável com relação a outra e possui nove cores, conforme qualificação contida na Figura 8.

Figura 8 - Escala de cores estabelecida para o Painel de Sustentabilidade

Escala de Cores	Grau de Sustentabilidade	Intervalo de Pontos
	Excelente	889-1000
	Muito Bom	778-888
	Bom	667-777
	Razoável	556-666
	Médio	445-555
	Ruim	334-444
	Muito Ruim	223-333
	Atenção Severa	111-222
	Estado Crítico	0-110

Fonte: IISD (1999)

- b) Índice de Desenvolvimento Sustentável: refere-se ao índice das quatro dimensões, calculados separadamente, a partir da média de todas as variáveis arroladas na dimensão. O índice de cada dimensão é calculado somando-se os valores obtidos, para cada uma de suas variáveis e dividindo-se este valor pelo número de variáveis, utilizadas em cada dimensão.
- c) Índice de Desenvolvimento Sustentável Global (IDSG): em seu cálculo são consideradas todas as quatro dimensões. O IDS é a média aritmética simples de todas as variáveis do sistema ou empreendimento. O IDSG sinaliza o grau de sustentabilidade do sistema analisado e é representado pela seta preta dentro do arco-íris, que fica acima dos gráficos-*pizzas* (Figura 7). A localização da seta no arco-íris permite avaliar o desempenho do sistema em análise, sendo que os tons de verde indicam boa sustentabilidade e os tons de vermelho, o inverso.

### 3.4 Análise de componentes principais (ACP)

A construção de indicadores/índices compostos é uma ferramenta estatística a serviço das políticas públicas. Como tal, abordagens estatísticas podem auxiliar na construção e análises dos indicadores. Portanto, a análise de componentes principais, assim como outras abordagens (análise fatorial, análise de cluster, etc.) podem ser úteis em análises de indicadores.

A construção de indicadores feita com base em pesquisa de campo requer análises estatísticas sobre as variáveis originais, objetivando eliminar aquelas que não geram informações relevantes, bem como eliminar aquelas com elevado grau de correlação. Para tanto, é adotado a análise de componentes principais.

Segundo Moita Neto (2004, p. 13), “a análise de componentes principais (ACP) é uma técnica matemática poderosa que pode ser utilizada para redução do número de variáveis e para fornecer uma visão estatisticamente privilegiada dos dados”. Em outras palavras, o autor acima ratifica que a ACP transforma um conjunto original de variáveis em outro grupo, denominado de componentes principais e em que cada variável original é expressa com um peso ou carga diferente. A ACP busca, também, identificar variáveis originais geradoras de pouca informação, para possibilitar a eliminação das mesmas sem perdas significativas de informação e para dar maior robustez ao estudo.

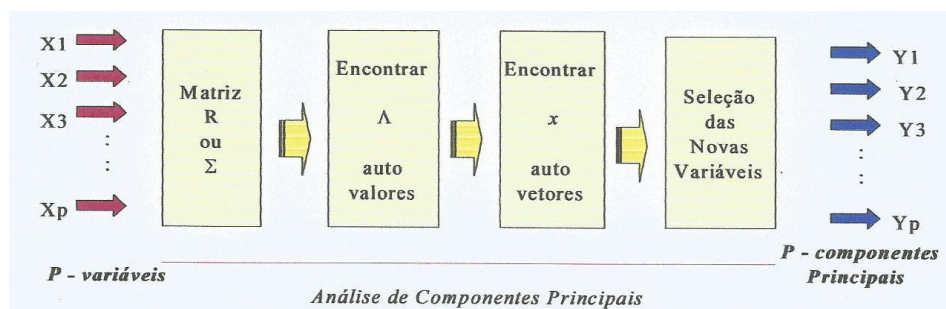
Para Vicini (2005, p. 28), os recursos computacionais disponíveis permitem utilizar a ACP para um grande número de variáveis, fato que permite obterem-se indicadores mais significativos. A propósito, ele afirma que:

A ideia matemática do método ACP é conhecida há muito tempo, apesar do cálculo das matrizes dos autovalores e autovetores não ter sido possível até o advento dos computadores. O seu desenvolvimento foi conduzido, em parte, pela necessidade de se analisar conjuntos de dados com muitas variáveis correlacionadas.

Completando e fundamentando as impressões do autor citado no parágrafo anterior, na estimação das componentes principais, faz-se necessário calcular a matriz de variância-covariância ( $\Sigma$ ) ou a matriz de correlação ( $R$ ), encontrar os autovalores e os autovetores, além de elaborar as combinações lineares requeridas, denominadas de componentes principais.

A Figura 9 mostra esquematicamente as etapas a serem seguidas em uma análise de componentes principais, ou seja, a partir das variáveis originais, construir a matriz de correlação, encontrar os autovalores e os autovetores e, finalmente, identificar as novas variáveis ou as componentes principais.

Figura 9 – Esquema para aplicação da análise de componentes principais



Fonte: Souza, A. M. (2000, p. 25)

A ACP é conduzida com base nas correlações (*component loadings*) de cada variável com as novas componentes. Estes resultados referem-se aos pesos normalizados (0 a 1) das variáveis principais, segundo a dimensão assumida na análise. Segundo Maroco (2003, p. 253), “geralmente aceita-se como variáveis determinantes aquelas que apresentam *component loadings* pelo menos superiores a 0,5 em valor absoluto”. Por outro lado, Santana (2004, p. 10) afirma que, como regra de geral, recomenda-se extrair da massa de dados o conjunto de componentes principais que explicam, pelo menos, 70% da variância total.

### **3.5 Métodos quantitativos de apoio à tomada de decisão**

Tomada de decisão, definida por Schmidt (1995), como sendo um esforço empreendido por um agente econômico para resolver o dilema entre objetivos conflitantes, o qual não permite a existência da “solução ótima” e conduz para a busca da “solução de melhor acordo”.

Em avaliações para tomada de decisão, tradicionalmente, utiliza-se a análise custo/benefício. Na mesma linha, porém ainda pouco utilizada, tem-se a análise custo-utilidade e a análise custo-eficiência.

Para projetos públicos que, por natureza, não se limitam a parâmetros financeiros, é mais apropriado a utilização de métodos que incorporem variáveis ou externalidades não incorporadas nos métodos que têm por base os custos e benefícios monetários (MOURÃO, 2002).

Para tais finalidades, os métodos multicritérios têm sido utilizados em vários segmentos econômicos, inclusive setor público, porque permitem avaliar, simultaneamente, as alternativas que atendem a mais de um objetivo, por mais de um critério, determinístico ou subjetivo, podendo ou não abordar interdependências entre essas soluções consideradas como elementos de avaliação (SAATY, 2006).

#### **3.5.1 Os métodos sob o enfoque financeiro**

##### **3.5.1.1 Análise custo-benefício (ACB)**

A análise custo-benefício de um projeto de investimento consiste em comparar todos os custos com os benefícios a serem gerados, ao longo da vida do

projeto. Para isto, gera-se um fluxo de caixa em que as entradas e saídas financeiras são descontadas a uma taxa de atratividade do investimento. A viabilidade financeira do projeto deve atender ao princípio de maximização da rentabilidade do investimento, em que o valor presente dos benefícios totais, gerados pelo projeto, seja maior do que o valor presente de todos os custos necessários a sua implantação e posterior funcionamento, ambos descontados à mesma taxa de desconto ou de atratividade (CONTADOR, 1988; CLARK, 2002; FRANÇA *et al.* 2012).

Dessa forma, pressupõe-se que os projetos de investimento, que atendem aos critérios de viabilidade financeira, maximizam os recursos disponíveis da sociedade. Os indicadores gerados pela ACB são: valor presente líquido (VPL), relação custo/benefício (B/C) e taxa interna de retorno (TIR). Segundo Motta (2007) a questão principal desse método está relacionada com a limitada capacidade de capturar os valores das funções ecossistêmicas ou externalidades. Mesmo assim, a ACB é um método amplamente utilizado para orientar decisões de investimentos.

#### 3.5.1.2 Análise custo-utilidade (ACU)

Segundo Motta (1997), tem-se observado consideráveis esforços em pesquisas, objetivando calcular um indicador de benefícios capaz de integrar os critérios econômico e ecológico. Nesse método, são utilizados indicadores tanto econômicos como ecológicos, a exemplo de: insubstitutibilidade, vulnerabilidade, grau de ameaça, representatividade e criticabilidade.

Cada indicador tem um peso absoluto e os benefícios das opções são avaliados com ponderações para cada indicador. Os resultados finais são, então, calculados para cada opção, que representará alguma média ponderada para todos estes critérios. A principal limitação do método é a determinação de escalas e ponderações e o alto custo para sua adoção.

#### 3.5.1.3 Análise custo-eficiência (ACE)

A ACE considera as várias opções disponíveis para se alcançar uma prioridade política pré-definida e compara os custos relativos destas para atingir seus objetivos (MOTTA, 1997).



Motta (1997) afirma, ainda, que é possível identificar a opção que assegura a obtenção do resultado desejado com menores custos. A ACE não ordena opções para definir prioridades, pois é um instrumental para definição de ações, a partir de prioridades previamente definidas. Haverá também situações de decisão, nas quais os custos institucionais da avaliação do projeto excedem aos ganhos de eficiência com uso de ACB ou ACU e, portanto, a ACE terá assim um papel importante na orientação de ações de gestão.

### 3.5.2 Análise multicriterial

#### 3.5.2.1 Aspectos gerais

As metodologias de análise multicriterial surgiram, a partir da década de 1970, na área da pesquisa operacional e tinham como objetivo estruturar e analisar os processos de tomada de decisão. Estes métodos fizeram uso dos recursos da psicologia quantitativa, já lidam com processos cognitivos e escalas de valores ancoradas em subintervalos, para expressar a preferência com relação a aspectos subjetivos. Segundo Costa (2004, p. 13), estes métodos “reconhecem a subjetividade como inerente aos problemas de decisão e utilizam julgamentos de valor como forma de tratá-los cientificamente”.

No campo da pesquisa operacional, duas escolas com metodologias de apoio multicritério à decisão se desenvolveram. A escola americana denominada de *Multicriteria Decision Making* (MCDM), que adota o método racionalista ou discreto, busca desenvolver modelos matemáticos com vistas a encontrar uma solução ótima, pré-existente às percepções dos decisores. Nessa escola, o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) ou Método de Análise Hierárquico (tradução livre) é o mais difundido no âmbito nacional e internacional (COSTA, 2004).

A escola europeia ou construtivista, por sua vez, é centrada na linha do *Multicriteria Decision Aid* (MCDA) e visa desenvolver mecanismos a respeito de um contexto, o qual é definido com base nas percepções desenvolvidas no processo de decisão. Na escola europeia, os métodos mais utilizados são os denominados de Electre e Promethee.

A escola europeia não se alicerça em bases matemáticas robustas, razão pela qual é menos adotada do que a escola americana. Segundo Gomes (2013), os

métodos da escola europeia, mesmo adotando alguns procedimentos dos métodos da escola americana,

não têm uma base axiomática tão sólida como os métodos que fazem uso da Teoria da Utilidade Multiatributo, no caso o AHP, cuja filosofia central é a agregação dos critérios em um critério único de síntese, por meio de uma função de utilidade multiatributo (GOMES, 2013, p. 4).

Em função da maior fundamentação teórica, do uso mais generalizado, da vasta bibliografia e da adequação ao problema estudado, é que decidiu-se pela utilização, neste estudo, do Analytic Hierarchy Process (Método de Análise Hierárquica) ou, simplesmente, AHP. Esse método foi concebido pelo pesquisador norte-americano Thomas Saaty e objetiva a seleção ou escolha de alternativas em um processo que considera diferentes critérios de avaliação.

### 3.5.2.2 Descrição do Método AHP

O AHP é uma metodologia flexível e poderosa de tomada de decisão que auxilia na definição de prioridades e na escolha da melhor alternativa, quando aspectos qualitativos e quantitativos devem ser considerados (BARAÇAS; MACHADO, 2006).

O fundamento do método de análise hierárquica é a decomposição e síntese das relações entre os critérios, até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1991).

De outro modo, o AHP, segundo Gomes *et al.* (2004), tem como referencial permitir a análise de um problema, a partir de um conjunto de alternativas pré-determinadas e um grupo de critérios estabelecidos, com o objetivo de selecionar a melhor ou as melhores alternativas para auxiliar na tomada de decisão.

Gomes (2014), por sua vez, assevera que o método multicriterial AHP busca, na psicologia quantitativa<sup>4</sup>, a expressão de preferência de pessoas, ao longo de escalas. Assinala, ainda, que foram os estudiosos da psicologia quantitativa que descobriram que a melhor escala é aquela que termina em sete mais ou menos dois.

---

<sup>4</sup>A psicologia quantitativa estuda a expressão de preferências das pessoas ao longo de escalas, estabelecendo que a melhor escala será aquela que termina em 7 (sete) mais ou menos 2 (dois). Os especialistas identificaram que o cérebro humano possui como limite 7+2 ou 7-2 itens de comparações simultâneas. Assim, o número 9 se estabelece como limite máximo de elementos por nível hierárquico (GOMES, 2014).

Recorrendo-se a esses pressupostos é que foi estabelecida a Escala Fundamental de Saaty.

O método AHP busca identificar e dar pesos a múltiplos critérios de seleção, considerando alternativas existentes. Ele ainda incorpora medidas de avaliação objetivas e subjetivas e permite testar a sua consistência.

Assim, o AHP é um método de apoio à decisão, que auxilia na escolha das melhores alternativas, em situações em que vários objetivos deverão ser alcançados simultaneamente. Essa metodologia requer um processo de estruturação ou modelagem para se chegar à alternativa ou às alternativas que melhor atendam aos objetivos colimados.

As etapas desse processo, segundo Saaty (1991), são: definir alternativas, definir os critérios relevantes para o problema de decisão, avaliar as alternativas em relação aos critérios, avaliar a importância relativa de cada critério e determinar a avaliação ou ranqueamento global das alternativas.

O principal benefício do AHP é a capacidade de lidar com aspectos qualitativos e quantitativos de um problema de decisão, além de ser aplicável em um vasto campo de atividades. Permite, ainda, uma transparência muito grande, tendo em vista que possibilita a transferência da experiência de um processo decisório específico para outros lugares, em função do detalhamento dos julgamentos e das prioridades identificadas.

O método AHP permite que elementos distintos e, frequentemente, incomensuráveis sejam comparados entre si de maneira racional e consistente, fato que o distingue de outros métodos convencionais de tomada de decisão.

Segundo Ohfuji (1997 *apud* LUNARO, 2007), para utilizar o método AHP é necessário que o formulário (questionário) não supere o número de 9 (nove) itens na comparação. A principal limitação do método, em tela, apresenta-se quando é utilizado sem atendimento rigoroso aos seus pressupostos ou em problemas não compatíveis com sua formulação teórica.

### 3.5.2.3 Aplicações do método AHP na área de recursos hídricos no Brasil

Mesmo não se tendo encontrado estudos voltados à tomada de decisão com a adoção do AHP, quanto às barragens subterrâneas, serão apresentados, neste

subitem, as aplicações do método AHP para subsidiar a tomada de decisão em projetos de recursos hídricos no Brasil.

Em Boas (2007), o método AHP é utilizado para auxiliar as decisão quanto ao uso múltiplo de reservatórios em Goiás tendo

Como resultado uma lista de alternativas de uso do reservatório, classificada em ordem decrescente de prioridade, de acordo com as preferências dos decisores. Na primeira posição da lista de destacou a alternativa “geração de energia elétrica”. Em seguida apareceram as alternativas: irrigação, abastecimento, recreação e, por último, aquicultura.

Utilizando-se de vários métodos de análise multicriterial, inclusive, o AHP, em um estudo para a bacia hidrográfica do baixo rio Cotia (São Paulo), Zuffo *et al.* (2002 *apud* SANTOS, 2009, p. 24) registram o que segue:

avalia os resultados dos métodos Electre, Promethee, Programação por Compromisso (PC), Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT) e Método Hierárquico (AHP), utilizados no planejamento para reabilitação, expansão e conservação do sistema produtor de água potável da Bacia do Baixo Cotia, localizado na Região Metropolitana de São Paulo. Na aplicação dos métodos multicriteriais, incorporou-se características ambientais, sociais, econômicas e técnicas. Foram adotados vinte critérios e nove diferentes alternativas para o estudo do problema. Os métodos Promethee, PC, CGT e AHP apresentaram resultados satisfatórios. Entretanto, segundo os autores, devido à insensibilidade do método Electre, a qualquer mudança de cenário de pesos, seus resultados não foram satisfatórios.

Para apoiar a decisão, quanto ao planejamento de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio dos Sinos-RS, Matzenauer (2003) utiliza o Método Multicritério em Apoio à Decisão (AHP), em que incorpora vários critérios na avaliação das alternativas. Os resultados demonstraram robustez da proposta que, ao possibilitar a geração e a avaliação de alternativas para o Plano da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, constituiu um diferencial capaz de conferir maior legitimidade ao processo de tomada de decisões sobre o planejamento de recursos hídricos.

### **3.6 O Método de Análise Hierárquico (AHP)**

#### **3.6.1 Considerações gerais**

Segundo Saaty (2000), o AHP é um método de análise para auxiliar em decisões estruturadas, por meio de uma rede formada por hierarquias de grupos e elementos interligados entre si, objetivando identificar a influência entre os

elementos e os grupos de um sistema, a partir da comparação de dois elementos em relação a um terceiro, tendo como base uma escala estabelecida pelo autor em referência. Por meio dessas comparações por pares, as prioridades, calculadas pelo AHP, capturam medidas subjetivas e objetivas e demonstram a intensidade do domínio de um critério sobre o outro ou de uma alternativa sobre a outra.

As comparações podem ser metrificadas por meio de uma escala de intensidade de importância, com valores variando de 1 a 9. Quando os valores de duas alternativas comparadas contribuem igualmente para o objetivo estabelecido, o valor é igual a 1. Quando o valor é 3, significa que uma das alternativas é fracamente mais importante que a outra e assim por diante. A qualificação mais detalhada das escalas é apresentada no Quadro 3.

“É importante ressaltar que os números usados na escala são magnitudes absolutas, e não simples números, e não permitem comparações cuja intensidade exceda a 9” (SAATY, 2009, p. 6). A fundamentação da escala de Saaty é comentada na nota de rodapé número 4.

Quadro 3 – Escala Fundamental de Saaty

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Pequena importância de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra
5	Grande importância ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito grande	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1991, p. 68)

Em uma análise, utilizando-se a hierarquia AHP, tem-se que fazer a modelagem específica para o problema em avaliação, como base da estruturação e construção de rotas de decisão em hierarquias. Inicialmente, faz-se necessário definir, de forma clara e consistente, o “foco principal, meta ou objetivo global”.

Em seguida, é necessário conhecer as alternativas para efeito de tomada de decisão dentre elas, para saber qual a que atende ao objetivo global. Para tanto, o conjunto de critérios e/ou subcritérios (propriedades, atributos, pontos de vista, etc.) deve ser definido de forma consentânea com o tema em estudo, para possibilitar o ranqueamento das alternativas com elevada consistência.

Sobre a robustez dos critérios, Chankong; Haimes (1983 *apud* GOMES *et al.*, 2004) recomendam que:

- todas as variáveis, ou eventos relevantes à solução do problema, devem estar inseridas na análise;
- não ocorram redundâncias ou superposições de eventos;
- sejam de fácil operacionalização, tanto pelo decisor quanto pelo avaliador.

Com relação à análise e sistematização dos questionários, Belderrain; Silva (2005) declara que:

A decisão de cada membro do grupo deve ser integrada uma por vez, de maneira matemática, podendo ser levadas em consideração a experiência, o conhecimento e o poder de cada pessoa dentro do grupo, sem que seja necessário um consenso ou a decisão de maioria.

Uma alternativa, para considerar as informações fornecidas pelos diferentes entrevistados, é dada pela média aritmética dos elementos das matrizes geradas a partir da resposta de cada um dos entrevistados. Ocorre que, dessa forma, algumas propriedades desejáveis de matrizes não são atendidas, razão pela qual Crawford; Williams (1985 *apud* COSTA; DUARTE, 2010) sugerem a construção de uma nova matriz, denominada de matriz média geométrica, representada pela notação a seguir:

$$v_i = \left( \prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n}$$

Onde:

- $v_i$  é a média geométrica dos elementos ou variáveis  $a_{ij}$  de um conjunto de matrizes;
- $a_{ij}$  é cada elemento ou variável que forma uma matriz, sendo a linha da matriz representada pela letra  $i$  e  $j$  representa a coluna;
- $n$  é a quantidade de elementos que compõem a matriz média geométrica.

### 3.6.2 Fundamentação teórica do AHP

A fundamentação teórica do Método de Análise Hierárquica está alicerçada na álgebra linear, mais especificamente na matriz quadrada recíproca positiva dominante, que mostra o número de vezes em que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais, em um processo de comparação par a par das alternativas. Para um aprofundamento matemático dessa matriz, sugere-se conhecer o Teorema de Perron-Frobenius em Madrid (2009).

De forma mais didática e resumida, Baraças e Machado (2006, p. 5), registram que

O método AHP propõe fornecer um vetor de pesos que expresse a importância relativa dos vários elementos. Inicia-se medindo o grau de importância do elemento de um determinado nível, em relação ao nível hierárquico imediatamente inferior, pelo processo de comparação par a par, realizado pelo decisor. A medição dos julgamentos é feita utilizando uma escala de valores variando de 1 a 9. Nessa fase, os axiomas da teoria são transparentes.

Os axiomas do AHP são expostos em Saaty (1991). São dois os axiomas. O primeiro é o da comparação recíproca em que o decisor ou especialista deve ser capaz de fazer comparações e mostrar a intensidade de suas preferências e, o segundo, pressupõe que a preferência deve satisfazer a condição de reciprocidade, ou seja, se  $A$  é  $x$  vezes preferível a  $B$ , logo  $B$  é  $1/x$  vezes preferível a  $A$ .

Para construir a matriz de julgamento, a partir das opiniões dos decisores e/ou especialistas, é necessário que a quantidade de julgamentos de uma matriz genérica  $A$  seja  $n(n-1)/2$ , onde  $n$  é o número de elementos pertencentes a esta matriz. Os elementos de  $A$  são definidos pelas condições:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{pmatrix}, \text{ onde:}$$

$a_{ij} > 0 \implies$  **positivo**  
 $a_{ij} = 1 \dots a_{ji} = 1$   
 $a_{ij} = 1/a_{ji} \implies$  **recíproca**  
 $a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \implies$  **consistência**

A propósito do preenchimento da matriz de julgamento, Silva (2007) informa que “o analista ou grupo participante julga se A domina o elemento B. Se afirmativo, inserir o número na célula da linha de A com a coluna de B. A posição da coluna A com a linha B terá valor recíproco. Assim, prossegue-se o preenchimento da matriz”. Os valores inseridos na matriz originam-se da Escala Fundamental de Saaty.

O Índice de Consistência (IC), para uma matriz recíproca de ordem  $n$ , com elementos não-negativos (matriz A, por exemplo), é calculado, segundo Saaty (1991), aplicando-se a seguinte notação:

$$\text{Índice de Consistência} = |(\lambda_{\max} - n)| / (n - 1)$$

Onde:

$\lambda$  é o autovalor máximo da matriz A;

$n$  é o número de linhas e de colunas da matriz A.

Assim, o índice de consistência é um valor calculado, a partir dos julgamentos dos especialistas, que mede o afastamento entre o  $\lambda_{\max}$  (autovalor máximo) e  $n$  (tamanho da matriz). Saaty (1991) afirma que para se obter a consistência de uma matriz positiva recíproca, seu autovalor máximo deveria ser igual a “ $n$ ” (dimensão da matriz).

Em outras palavras e de forma mais abrangente, Silva (2007, p. 46), a seguir, demonstra o que seja medida ou índice de consistência da seguinte forma:



O autovetor dá a ordem de prioridade e o autovalor é a medida de consistência do julgamento. O método da análise hierárquica busca o autovalor máximo,  $\lambda_{\max}$ , que pode ser calculado pela multiplicação da matriz de julgamentos  $A$  pelo vetor coluna de prioridade computado  $w$ , seguido da divisão desse novo vetor encontrado,  $Aw$ , pelo primeiro vetor  $w$ , chegando-se ao valor de  $\lambda_{\max}$ .

Para o cálculo da razão de consistência (RC) da modelagem, procede-se dividindo o índice de consistência (IC) pelo índice de consistência randômico (IR), conforme apresentado na Tabela 2, ou seja:

Tabela 2 – Índices de consistência randômicos (IR)

Ordem da matriz	IR
1	0,00
2	0,00
3	0,52
4	0,89
5	1,11
6	1,25
7	1,35
8	1,40
9	1,45
10	1,49

Fonte: Saaty (2009, p. 30)

O índice de consistência randômico é um valor tabelado que representa o erro aleatório associado à ordem da matriz de julgamento.

Como parâmetro para identificar a validade dos resultados, Saaty (1991, p. 27) afirma que “se a razão de consistência (IC/IR) for menor que 0,1 a análise pode prosseguir, pois há consistência na análise. Caso o RC seja maior que 0,1, a recomendação é que sejam refeitos os julgamentos”.

Quando for constatada inconsistência nos resultados, Saaty (2006) afirma que a medida de consistência permite retornar aos julgamentos para modificá-los em alguns pontos, melhorando a consistência geral. As inconsistências decorrem de julgamentos que não guardam coerência entre si.

### 3.6.3 Etapas do Método AHP

A modelagem do problema é feita em consonância com a realidade estudada, de forma que o método AHP estabeleça a avaliação das alternativas em relação aos

critérios, a identificação da importância relativa de cada critério, em relação ao foco principal e a determinação da medida global de cada alternativa.

As etapas do método AHP são três: a) definição do foco principal; b) identificação das alternativas; e c) identificação dos critérios. A seguir cada uma dessas etapas é discutida.

#### a) Foco principal

O primeiro passo é estabelecer o objetivo central da análise, que deve refletir a questão principal que se quer conhecer.

#### b) Identificação das alternativas

Com base no cenário estudado, são escolhidas as alternativas para efeito de hierarquização e tomada de decisão. Então, para avaliar o desempenho e a estabilidade entre as alternativas, faz-se necessário que as condições e os componentes, definidores das alternativas, sejam recíprocos e comparáveis.

#### c) Identificação dos critérios

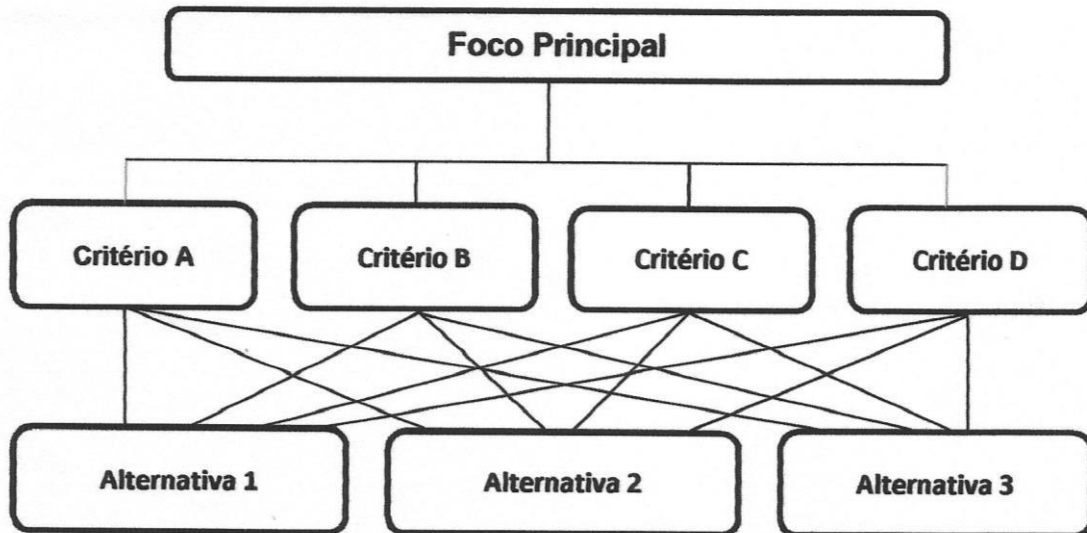
Nesta etapa, segundo Costa (2004, p. 43), “estabelece-se o conjunto de critérios e subcritérios considerados na modelagem do problema, de tal forma que o modelo se aproxime o máximo possível da realidade”. Os critérios ou variáveis quantitativas ou qualitativas são escolhidos com base nos conhecimentos técnicos, valores, crenças, experiências e convicções dos especialistas ou decisores, a partir da literatura estuda, de opiniões de especialistas e de entrevistas-piloto.

### 3.6.4 Estruturação da hierarquia

No método AHP, faz-se necessário estabelecer uma hierarquização das etapas. Na Figura 10, é apresentado o desenho de uma hierarquização para ilustrar o relacionamento funcional dos elementos integrantes do modelo, ou seja, as linhas com foco principal, com os critérios e a linha das alternativas. A lógica do processo é *bottom-up* (de baixo para cima) tendo em vista que, no tema estudado, as

alternativas selecionadas são, *a priori*, melhor compreendidas, em relação aos objetivos ou foco principal.

Figura 10. Hierarquia do problema estudado por meio do Método AHP de Saaty



### 3.6.5 Julgamentos de valor

Nesta etapa do processo de modelagem, seleciona-se os avaliadores (especialista ou decisor) que fazem a comparação, par a par, dos elementos de um nível da hierarquia em referência com cada um dos elementos em conexão, em uma camada superior da referida hierarquia.

As comparações, par a par, são utilizadas no modelo para identificar o grau de preferência entre alternativas, à luz de um determinado critério, objetivando correlacionar tal preferência a uma escala numérica, em que o principal autovetor de prioridade é derivado.

Para o método AHP, Saaty (1991) apresenta uma escala específica para a metrificação dos julgamentos de valor, par a par, por parte dos especialistas ou decisores, por meio de questionário ou formulário previamente elaborado pelo facilitador. O Quadro 3 apresenta a Escala Fundamental de Saaty, que é utilizada para este fim.

Conforme reportado em Azevedo; Costa (2001 *apud* COSTA, 2004), dentre outros fatores, a eficácia dos resultados está associada à competência dos

entrevistados em emitir os julgamentos de valor. Assim, deve-se utilizar, em cada etapa de julgamento do método AHP, avaliadores que tenham um alto conhecimento sobre o tópico em julgamento.

A estruturação dos questionários é uma etapa crítica do estudo, tendo em vista sua relativa complexidade e a necessidade de clareza na apresentação das alternativas. A estrutura básica do questionário, para a adoção do método AHP, esta apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 - Escala de comparação de critérios e alternativas

Critério A	"A" MAIS IMPORTANTE				A=B	"B" MAIS IMPORTANTE				Critério B
	9 Absoluta	7 muito grande	5 Grande	3 Pequena	1 Igual	3 Pequena	5 Grande	7 Muito grande	9 Absoluta	

Fonte: Pappa (2012)

### 3.6.6 Cálculo das prioridades

Nesta etapa, são mostrados os procedimentos algébricos, no âmbito do método AHP de Saaty, para se fazer a associação das prioridades indicadas pelos entrevistados, em relação aos critérios e às alternativas. A priorização no AHP é feita em quatro fases, a saber:

- obtenção dos quadros de julgamento;
- obtenção dos quadros de julgamento normalizados;
- cálculo de prioridade média local (PML);
- cálculo das prioridades globais das alternativas.

A seguir, cada um desses procedimentos são apresentados:

#### a) Obtenção dos quadros de julgamento

Os julgamentos, fornecidos pelos entrevistados, são transformados em quadros (matrizes), com o auxílio da Escala Fundamental de Saaty. Os Quadros 5 e 6 apresentam matrizes de julgamento dos critérios em função do foco principal e das alternativas, em relação aos critérios, respectivamente. Cada um dos elementos das matrizes,  $a_{ij}$ , representa o julgamento feito pelo entrevistado.

Quadro 5 - Matriz de julgamento de valor dos critérios, à luz do foco principal

Foco Principal			
Julgamento	Critério 1	Critério 2	Critério 3
Critério 1	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
Critério 2	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$
Critério 3	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$

Quadro 6 - Matriz de julgamento de valor das alternativas em relação aos critérios

Critério 1			
Julgamento	Alternativa A	Alternativa B	Alternativa C
Alternativa A	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
Alternativa B	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$
Alternativa C	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$

Os valores apresentados nestes quadros comportam-se como elementos de matrizes recíprocas, o que é corroborado por Costa (2004, p. 52), ao afirmar que “se  $A_2$  é moderadamente preferível (valor igual a 3 da Escala de Saaty) a  $A_1$ , à luz do critério X, então  $A_1$  é moderadamente preferido (valor igual a 1/3), em relação a  $A_2$ , a luz de X. Este tipo de reciprocidade está presente em todos os quadros de julgamento de valor do AHP”.

#### b) Normalização das matrizes de julgamento

Para a obtenção dos quadros (matrizes) normalizados, adota-se os seguintes procedimentos:

- i. faz-se o somatório dos elementos de cada coluna do quadro de julgamento (matriz);
- ii. divide-se cada um dos elementos das colunas pelo somatório referente as respectivas colunas. No Apêndice C, encontram-se quadros demonstrativos deste procedimento.

### c) Cálculo das prioridades médias locais (PMLs)

As PML são calculadas a partir dos quadros normalizados. Ou seja, as PML são as médias das colunas dos quadros normalizados. A prioridade média local (PML) é uma magnitude que estabelece o grau da prioridade de uma alternativa, em relação a um determinado critério. De forma análoga, é calculada a PML para a importância dos critérios, em relação ao foco principal. O passo-a-passo destes cálculos encontram-se no Apêndice C.

#### 3.6.7 Cálculo das prioridades médias globais

O cálculo das prioridades médias globais é realizado com a finalidade de identificar um vetor de prioridade global (PG), que armazene a prioridade associada a cada alternativa, em relação ao foco principal.

Assim, para se encontrar a magnitude do vetor da prioridade global da alternativa  $A_1$ , por exemplo, procede-se da seguinte forma:

$$PG_{A1} = (PML_{A1,X1}) \times (PML_{X1,FP}) + \dots + (PML_{An,Xn}) \times (PML_{Xn,FP})$$

Onde:

A é a alternativa

X é o critério

FP é o foco principal.

Um exemplo hipotético da aplicação das etapas do método AHP é apresentado no Apêndice C.

## **4 METODOLOGIA**

Neste capítulo, são apresentados o objeto e a área de estudo, o delineamento da pesquisa de campo, o universo e a seleção da amostra. Com relação aos métodos selecionados, são descritos indicadores de referência das barragens subterrâneas, passíveis de seleção, com a aplicação do método Painel de Sustentabilidade, e o auxílio da análise de componentes principais na seleção das variáveis com maior carga, assim como as etapas da modelagem do problema com a utilização do AHP.

### **4.1 Área de estudo**

O objeto deste estudo é a barragem subterrânea modelo Costa & Melo. Tal modelo foi escolhido por apresentar vantagens na construção e manejo, comparado aos outros modelos, e por ser o mais disseminado no Nordeste do Brasil. Neste estudo, as barragens subterrâneas são consideradas como um empreendimento socioeconômico e ambiental e não apenas uma obra de engenharia agrícola.

A macroárea de interesse do estudo é a zona semiárida do Estado do Ceará, com foco na compartimentação topográfica denominada “planícies fluviais”. Assim, a área, objeto da pesquisa, está inserida nas planícies fluviais do Estado do Ceará, que compreendem 2,93% do seu território (IPLANCE, 1997) e representam típicas formas de deposição fluvial, por oferecerem melhores condições de utilização agrícola e serem tradicionalmente utilizadas na agricultura de vazante. Dentre essas planícies, as mais relevantes são as que se encontram nas microbacias hidrográficas dos rios Jaguaribe, Banabuiu, Salgado, Acaraú, Curu, Coreaú, Aracatiaçu, Aracati-Mirim e Poti (SOUZA *et al.*, 1979).

### **4.2 Modelos de Análise**

Nesta seção, são mostrados os procedimentos adotados para utilização do método Painel de Sustentabilidade, com destaque para o sistema de indicadores por dimensão, para a barragem-padrão, e a análise de componentes principais, que selecionou os indicadores mais significativos da

barragem-padrão. Além dos parâmetros estabelecidos pelo Painel de Sustentabilidade, utiliza-se como parâmetro adicional de análise o sistema ISA (indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas), descrito no referencial teórico desta tese (FERREIRA *et al.*, 2012), em que o índice igual ou superior a 0,7, em uma escala de 0 a 1, reflete bom desempenho ambiental, econômico e social da propriedade rural, denominado, também, como o limiar da sustentabilidade.

Em seguida, é mostrado o passo-a-passo da aplicação do método AHP, em especial, a identificação do foco principal, a seleção dos critérios e das alternativas.

#### 4.2.1 Painel de Sustentabilidade

A utilização do Painel de Sustentabilidade, nesta tese, é feita por meio de uma adequação da estrutura sugerida por CGSDI (2015) e adaptada por Van Bellen (2002, p. 130), apresentada no Quadro 1. Dessa forma, elaboraram-se os Quadros: 7(a) – Dimensão Ambiental, com 11 indicadores; 7(b) – Dimensão Social, com 13 indicadores; 7(c) – Dimensão Econômica, com 12 indicadores; e 7(d) – Dimensão Institucional, 12 indicadores, com as respectivas caracterizações e métricas, recomendadas pelo método Painel de Sustentabilidade.

As variáveis ou indicadores das barragens subterrâneas, apresentados no Quadro 7, foram identificados a partir da revisão de literatura sobre a configuração técnica, operacional e impactos esperados da barragem subterrânea modelo Costa & Melo, da experiência do autor, e validados na pesquisa de campo-piloto, e em entrevistas com especialistas, à luz dos indicadores referenciais do Painel de Sustentabilidade (Quadro 1). Portanto, não foram utilizadas variáveis de fontes secundárias nem *proxies*, fato que dá mais robustez aos resultados.

No Quadro sete apresenta-se a caracterização dos indicadores selecionados, por dimensão, em que constam a identificação e a definição do indicador, é estabelecida a métrica de sustentabilidade, registrada a fonte da informação e feita à justificativa para a seleção do indicador.



Os valores monetários, constantes do Quadro 7, correspondem aos preços vigentes em 2014. Com base nos pressupostos de relevância e robustez, necessários aos sistemas de indicadores, a quantidade de variáveis construídas (48), a partir da pesquisa de campo, foi reduzida para 28, com base no processamento computacional, feito por meio do Pacote SPSS, utilizando a análise de componentes principais, conforme pode ser visto no Apêndice D.

Isto foi feito mediante o grande número de variáveis propostas e a necessidade de selecionar aquelas que tenham maior participação, para a explicação da variância total dos dados. Como regra geral, extrai-se, da massa de dados (variáveis), o conjunto de componentes principais (variáveis mais relevantes) que expliquem, pelo menos, 70% da variância total, conforme é mostrado no referencial teórico desta tese (SANTANA, 2004, p. 10).

Quadro 7 – Caracterização de indicadores de uma barragem-padrão para o semiárido do Ceará (continua)

a) Dimensão ambiental

Indicador	Definição	Indicador padrão (=1.000 pontos)	Fonte para a métrica do indicador padrão	Justificativa para a seleção do indicador e sua métrica
Área média no ano da pesquisa (ha)	Área explorada com agricultura à montante da barragem.	2,0 ha	Cirilo e Duarte (1999) França <i>et al.</i> (2012)	É um indicador que reflete a dimensão ambiental por ser área de APP, requerendo maiores cuidados no seu manejo. A métrica é compatível com o modelo de barragem Costa & Melo.
Área da bacia hidráulica (ha)	É o índice obtido da divisão da área real da bacia hidráulica utilizada pela área da bacia hidráulica padrão.	3,0 ha	Cirilo e Duarte (1999) França <i>et al.</i> (2012)	Corresponde à área total sob a influência da barragem, inclusive a área da mata ciliar beneficiada.
Salinidade da água	Grau de salinidade da água: baixa = 700 a 1.000 pontos, média = 500 a 700 pontos, alta = abaixo de 500 pontos	600	Indicação dos especialistas	A salinidade da água das barragens subterrâneas é uma das limitações desta tecnologia. O indicador padrão foi estabelecido com base na pesquisa piloto e na opinião de especialistas.
Qualidade do solo da barragem	Grau de qualidade do solo da área agricultável  Métrica: Alta = 700 a 1.000 pontos, média = 500 a 700 pontos, baixa = abaixo de 500 pontos.	600	Estimativa dos especialistas	A qualidade do solo da área agricultável da barragem varia em função dos sedimentos depositados no leito do rio ou riacho. O indicador padrão foi estabelecido com base na pesquisa piloto e na opinião de especialistas.
Proporção de mata ciliar (ha)	Índice obtido pela divisão da área média real e a área padrão de mata ciliar.	1	Lei nº 4.771/65, Art. 2º (área estimada de 2 ha)	O impacto positivo da barragem na mata ciliar lindeira à bacia hidráulica é um ganho ambiental expressivo. O valor de 1 ha como referência representa apenas 50% do que determina a Lei. Este percentual reduzido reflete a possibilidade real de mitigação da degradação dessas formações vegetais no semiárido.

Quadro 7 – Caracterização de indicadores de uma barragem-padrão para o semiárido do Ceará (conclusão)

a) Dimensão ambiental

Indicador	Definição	Indicador padrão (=1.000 pontos)	Fonte para a métrica do indicador padrão	Justificativa para a seleção do indicador e sua métrica
Melhorias da flora e da fauna no entorno da barragem (%)	Mede a percepção do aumento da presença de mamíferos e pássaros silvestres após a construção da barragem subterrânea.	80%	Indicação de usuários obtida na pesquisa piloto.	Com o nível do lençol freático elevado a mata ciliar fica mais viçosa, possibilitando a oferta de alimentos e abrigo aos animais silvestres.
Nível do lençol freático (m)	Altura da lâmina d'água do poço em nov/2014.  Superior ou igual a 1 m = 1.000 pontos, 50-99 cm = 500 pontos, 25 a 49 cm = 250 pontos, 0 a 24 cm = zero pontos	1	Indicação de usuários obtida na pesquisa piloto.	Quanto mais elevado o lençol freático, maior é a possibilidade de exploração agrícola e oferta d'água.
Acumulação de água nas barragens (%)	Mede o volume d'água acumulado no final da quadra invernos com base na mensuração do nível do poço.	100%	Indicação de usuários obtida na pesquisa piloto.	Necessidade de se conhecer o volume de água acumulada. Em anos com quadra invernos dentro da média histórica, a barragem alcança 100% de acumulação de água.
Uso de adubação orgânica (%)	Porcentual de barragens que utilizaram adubo orgânica.	50%	Indicação de usuários obtida na pesquisa piloto.	Como os solos à montante da barragem são, geralmente, pobres em alguns nutrientes, faz-se necessário enriquecê-los com adubação orgânica.
Uso fertilizantes minerais (%)	Porcentual de barragens em que foi usado fertilizantes minerais.	30%	Indicação de usuários obtida na pesquisa piloto.	Como os solos à montante da barragem são, geralmente, pobres em alguns nutrientes, faz-se necessário enriquecê-los com nitrogênio, fósforo e potássio.
Uso de agrotóxicos (%)	Porcentual de barragens em que foram usados agrotóxicos.	0%	Indicação de usuários obtida na pesquisa piloto..	Mesmo sendo proibido, há agricultores que utilizam agrotóxicos nas explorações agrícolas da barragem.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 7 – Caracterização de indicadores de uma barragem-padrão para o semiárido do Ceará (continua)

b) Dimensão Social

Indicador	Definição	Indicador padrão (=1.000 pontos)	Fonte para a métrica do indicador padrão	Justificativa para a seleção do indicador e sua métrica
Participação dos usuários na construção da barragem	É a proporção de usuários envolvidos na construção em relação à quantidade prevista de usuários.	8	Ceará (2008) SEMARH (2012)	Por ser uma tecnologia social é previsto o envolvimento dos usuários potenciais.
Participação da mão de obra familiar na produção agrícola (%)	Porcentual de membros da família explorando a barragem, em relação ao total da mão de obra ocupada na barragem.	90%	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf)	Lei nº 1.946/1996 que cria o Pronaf, estabelece que agricultor familiar é aquele que utiliza predominantemente mão de obra da própria família nas atividades econômicas do seu estabelecimento.
Participação de jovens na produção agrícola	Proporção de jovens trabalhando na exploração agrícola em relação ao total da mão de obra ocupada na barragem.	1	IBGE (2010)	A média de integrantes das famílias rurais do Ceará é de 3,79 pessoas e, deste total, 21,7% são jovens de 15 a 24 anos.
Autoconsumo familiar (%)	Porcentual da produção agrícola consumida pela família em relação à produção total da barragem	70%	FRANÇA <i>et al.</i> (2010) Estimativa dos especialistas.	Como a produção ocorre no período de estiagem (entressafra) a demanda familiar por alimentos é muito grande.
Beneficiários da água das barragens.	Relação entre o número de pessoas que utilizam água da barragem (para todos os fins), em relação à quantidade desejável.	15	Estimativa do autor baseada na pesquisa-piloto.	A oferta de água diminui a níveis críticos no período de estiagem, tanto para as famílias como para os animais.
Participação das mulheres na exploração da barragem	Proporção entre o número de mulheres que trabalham na barragem e o total de pessoas ocupadas no empreendimento.	1	Estimativa dos especialistas e informações da pesquisa-piloto	Inserção da força de trabalho feminina na exploração da barragem, sobretudo, na exploração de hortícolas. A exploração da barragem requer 12 homens/dia/mês.
Escolaridade do proprietário (anos)	Mede a relação entre a média de anos de escolaridade formal dos beneficiários, em relação à escolaridade desejável.	5 anos	Estimativa dos especialistas e informações da pesquisa-piloto	Indicador importante em razão da exploração da barragem requerer manejo da água e do solo de forma mais tecnicizada. Sousa <i>et al.</i> (2013)
Quantidade máxima de água acumulada (m³).	Estimativa do volume de água acumulada em 2014, em relação à quantidade padrão.	15.000 m³	Oliveira (2010)	A acumulação de água é a principal função da barragem e seu volume anual acumulado sinaliza sua viabilidade técnica.

Quadro 7 – Caracterização de indicadores de uma barragem-padrão para o semiárido do Ceará (conclusão)

c) Dimensão Social

Indicador	Definição	Indicador padrão (=1.000 pontos)	Fonte para a métrica do indicador padrão	Justificativa para a seleção do indicador e sua métrica
Migração sazonal de membros da família	Número de membros da família que migrou no período de estiagem de 2014 em busca de ocupação.	0	Indicação dos especialistas	Capacidade da barragem de fixar os membros da família na propriedade no período de estiagem (verão).
Beneficiários de transfêrencias governamentais	Número de beneficiários por família dos programas Bolsa Família e aposentadoria rural.	2	Indicação dos especialistas	Saber qual a dependência do agricultor aos programas de transferências governamentais e a intensidade de exploração da barragem.
Consumo familiar de água da barragem (m <sup>3</sup> /semana)	Mede o consumo de água em reação ao parâmetro recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS).	1,5 m <sup>3</sup> /semana	Franca (2003)	A oferta de água é uma das principais funções da barragem subterrânea. Segundo Franca (2003, p. 39) o consumo diário de água <i>per capita</i> de uma barragem subterrânea no semiárido é de 60 litros.
Satisfação dos beneficiários (%)	A barragem atendeu as expectativas dos beneficiários: pouco = 25% pontos; mais ou menos = 50% pontos e muito = 100% pontos	100 pontos	Pesquisa do autor com base na pesquisa-piloto	A satisfação e o envolvimento do agricultor com a barragem é uma premissa da tecnologia. A métrica é coerente com a implantação da barragem a fundo perdido e sem obrigatoriedade de sua exploração.
Conflitos de uso da barragem	Ocorrência de: Nenhum = 1.000 Dois = 500 Mais de dois = 250	0	Indicação dos especialistas	Considerando que as propriedades são muito pequenas e que os limites são baseados, geralmente, pela calha do rio ou riacho é provável a ocorrência de conflito de interesses (SEMARH, 2012) e (FRANÇA, 2010).

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 7 – Caracterização de indicadores de uma barragem-padrão para o semiárido do Ceará (continua)

d) Dimensão Econômica

Indicador	Definição	Indicador padrão (=1.000 pontos)	Fonte para a métrica do indicador padrão	Justificativa para a seleção do indicador e sua métrica
Investimento de fundação ou capital fixo (R\$)	É a relação entre o valor do investimento na construção da barragem, do poço, da locação e do treinamento e o valor tecnicamente recomendado.	R\$ 5.230,00	Cirilo et al (2003) França et al (2012) SEMARH (2012)	O valor do investimento é condicionado pelos resultados da locação da barragem.
Capital semifixo (R\$)	Expressa a relação entre o valor efetivamente investido em cerca, forrageira, arado, moto-bomba, eletrificação e equipamentos de irrigação e o valor tecnicamente recomendado.	R\$ 7.500,00	BNB (2009) França et al (2012)	O valor do capital semifixo reflete o nível tecnológico adotado e o potencial produtivo da barragem SEMARH (2012).
Despesas de custeio da produção (R\$)	É a relação entre o valor gasto na exploração efetivamente realizada e o valor do custeio recomendado para 2 ha.	R\$ 3.400,00	BNB (2009) Silva et al (1998)	O valor e os itens de custeio refletem o nível tecnológico e o potencial produtivo da barragem (FRANÇA, 2012).
Receita bruta anual ou valor bruto da produção (R\$)	Receita bruta anual obtida com a valoração monetária da produção agrícola em relação a receita bruta indicada para a barragem-padrão.	R\$ 7.800,00	França <i>et al.</i> (2012)	É o valor de mercado de toda a produção agrícola da barragem utilizado para mensurar a rentabilidade do empreendimento.
Lucro líquido (R\$)	É a relação entre o lucro obtido no empreendimento e o lucro financeiramente desejável. O lucro líquido é a diferença entre a receita bruta e o custo total (FRANÇA <i>et al.</i> , 2011)	R\$ 4.400,00	França <i>et al.</i> (2012)	É um dos principais indicadores financeiros de um empreendimento. É sempre positivo e sinaliza o grau de retorno dos investimentos realizados.
Gasto anual com energia elétrica (R\$)	Informa o valor gasto com energia elétrica, em relação ao gasto total desejável para a barragem-padrão.	R\$ 150,00	BNB (2009)	O gasto com energia elétrica é uma proxy para o nível tecnológico do empreendimento (MADEIRA, 2012)
Receita da venda do excedente produção (R\$)	É a relação entre o valor do excedente efetivamente vendido e o valor esperado para a barragem-padrão.	R\$ 4.000,00	Estimativa dos especialistas	Mostra o grau de inserção do agricultor no mercado local.
Financiamento (R\$)	É a relação entre o valor do financiamento realizado e o valor correspondente a 30% da receita bruta.	R\$ 2.340,00	BNB (2009)	Indica o grau de alavancagem de financiamento bancário, bem como o grau de modernização do agricultor (MADEIRA, 2012) .

Quadro 7 – Caracterização de indicadores de uma barragem-padrão para o semiárido do Ceará (conclusão)

e) Dimensão Econômica

Indicador	Definição	Indicador padrão (=1.000 pontos)	Fonte para a métrica do indicador padrão	Justificativa para a seleção do indicador e sua métrica
Quantidade de explorações agrícolas relevantes	Quantidade de culturas exploradas vs. quantidade de culturas possíveis de exploração na bacia hidráulica da barragem. (exploração maior que meia tarefa-1.815m <sup>2</sup> )	5	Silva <i>et al</i> (1998) França <i>et al.</i> (2012)	Mostra a diversificação de culturas que a barragem possibilita explorar.
Participação da produção de forrageiras	É o percentual entre a área com forrageiras e a área total explorada.	70%	Estimativa obtida na pesquisa-piloto e na opinião dos especialistas	Há uma predominância de cultivos de forrageiras nas barragens subterrâneas do Ceará.
Valorização da terra explorada, após a barragem	É a relação entre o valor da terra da bacia hidráulica da barragem antes da intervenção, com o valor da barragem em exploração.	100%	França <i>et al.</i> (2012)	Mostra a valorização da terra sob influência da barragem.
Mão de obra empregada na produção (homens/dia)	Indica o quantitativo de mão de obra utilizada com relação a efetivamente necessária.	71 diárias	França <i>et al.</i> (2012) BNB (2009)	Mostra o grau de ocupação de mão de obra na exploração agrícola da barragem.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 7 – Caracterização de indicadores de uma barragem-padrão para o semiárido do Ceará (continua)

f) Dimensão institucional

Indicador	Definição	Indicador padrão (=1.000 pontos)	Fonte para a métrica do indicador padrão	Justificativa para a seleção do indicador e sua métrica
Capacitação dos beneficiários (hora)	Quantidade de horas de capacitação (construção e exploração) em relação ao parâmetro estabelecido para a barragem-padrão.	50 horas	SEMARH (2012)	Como a barragem é uma inovação tecnológica e uma tecnologia social, faz-se necessária envolver e capacitar o agricultor.
Assistência técnica (visita)	Quantidade de visitas técnicas, em relação ao parâmetro estabelecido.	4 visitas	SEMARH (2012)	Como a barragem é uma inovação, faz-se necessário a assistência técnica especializada e sistemática.
Monitoramento (supervisão)	Quantidade de visitas de monitoramento, em relação ao parâmetro estabelecido.	1 visita	Ceará (2008)	Como as barragens são implantadas com recursos públicos é obrigatório seu monitoramento anual (CEARÁ, 2008).
Barragens implantadas (%)	É a relação entre a quantidade de barragens integralmente concluídas e as que faltam o poço e/ou o enrocamento, em 2014.	100%	Ematerce (2015) Cirilo <i>et al.</i> (1999)	Existem programas governamentais e de ONGs que não executam todas os componentes de uma barragem.
Produção vendida ao Governo (%)	É o índice entre o valor da produção excedente vendida ao governo e a prevista para a barragem-padrão.	50%	Lei nº 10.696/2003 que criou o Programa de Aquisição de Alimentos (PAA)	O Programa de Aquisição de Alimentos (PAA) do Governo Federal estabelece o valor máximo de R\$ 4.500,00 para aquisição de alimentos por estabelecimento agrícola familiar.



Quadro 7 – Caracterização de indicadores de uma barragem-padrão para o semiárido do Ceará (continua)

g) Dimensão institucional

Indicador	Definição	Indicador padrão (=1.000 pontos)	Fonte para a métrica do indicador padrão	Justificativa para a seleção do indicador e sua métrica
Participação em eventos de planejamento (%)	Quantidade de eventos de discussão sobre barragens subterrâneas em relação ao parâmetro estabelecido para a barragem-padrão.	2 eventos	Ceará (2008) SEMARH (2012)	Como a barragem é uma tecnologia social, a participação dos beneficiários na concepção do projeto é fundamental para seu êxito.
Servidão pública da barragem (termo)	Termo de servidão pública da água assinado: tem = 1.000, não tem = 0 ponto.	1.000 pontos	Exigência legal	Como as barragens são construídas com recursos públicos, o uso da água tem que ser comunitária e legalmente definido.
Extensão do eixo da barragem (m)	Índice obtido da divisão entre a extensão real e o parâmetro estabelecido para a barragem padrão.	50 m	Cirilo e Costa (1999)	A extensão do eixo é determinante no custo de construção. Eixo muito extenso denota elevado custo e má alocação da barragem por parte dos agentes governamentais
Profundidade da vala da barragem (m)	Índice obtido da divisão entre a profundidade real e o parâmetro estabelecido para a barragem-padrão.	2,5 m	Oliveira (2010)	A profundidade do eixo é determinante no êxito da barragem. Profundidade muito baixa denota reduzida acumulação de água e má alocação da barragem por parte dos agentes governamentais.
Locação da barragem (procedimento).	Os procedimentos adotados na locação da barragem são: estudo completo=100%; estudo parcial e experiência do técnico =50%; só experiência do proprietário ou técnico = 25%; não adotou critérios técnicos nem experiência= 0%	100%	Oliveira (2010)	A locação da barragem é uma das etapas mais importantes, tendo em vista que, sendo bem feito, o êxito da barragem está assegurado sob o ponto de vista da engenharia agrícola.

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 7 – Caracterização de indicadores de uma barragem-padrão para o semiárido do Ceará (conclusão)

h) Dimensão institucional

Indicador	Definição	Indicador padrão (=1.000 pontos)	Fonte para a métrica do indicador padrão	Justificativa para a seleção do indicador e sua métrica
Participação comunitária (%)	Envolvimento de entidades representativas dos beneficiários. Participação de pelo menos uma = 100%; não houve participação = 0%.	100%	SEMARH (2012).	Sendo a barragem uma tecnologia social, a discussão sobre sua implantação na comunidade é condição básica para a aceitação e o êxito da mesma.
Efeito demonstração da barragem (visita)	A barragem subterrânea é uma inovação para o meio rural do semiárido cearense razão pela qual pode ter a função de unidade demonstrativa. Os parâmetros do indicador, para 2014, são: Nenhuma visita = 0; uma visita = 250 pontos; duas visitas = 500 pontos; três visitas = 750 pontos; 4 visitas = 1.000 pontos.	4 visitas	.Ceará (2008)	Como as possibilidades de construção de barragens subterrâneas no semiárido do Ceará são grandes, as atuais barragens operaram, também, como unidades demonstrativas para dias de campo e para eventos de capacitação.

Fonte: Elaborado pelo autor

Os indicadores que compõem as dimensões do Painel de Sustentabilidade da barragem-padrão somam 48. Esses indicadores ou variáveis estão divididos segundo a dimensão do desenvolvimento sustentável, como seguem:

- Dimensão ecológica ou ambiental: 11 indicadores;
- Dimensão social: 13 indicadores;
- Dimensão econômica: 12 indicadores;
- Dimensão institucional ou político institucional: 12 indicadores.

O cálculo da métrica do indicador do Painel de Sustentabilidade é feito a partir da divisão do valor médio do indicador (variável contínua), obtida em campo pela métrica do valor padrão estabelecido para referido indicador e, o resultado dessa divisão, é multiplicado por 1.000. Há indicadores (variáveis discretas), no entanto, que são obtidos na fase de tabulação dos dados de campo, como por exemplo, porcentagens e quantitativos obtidos que são normalizados com base no referencial de 1.000.

#### 4.2.2 Método AHP

O método AHP é utilizado com o objetivo de identificar o padrão de barragem subterrânea que gere o maior benefício aos usuários. Em função desse objetivo, considera-se, no estabelecimento dos critérios do AHP, as quatro dimensões de sustentabilidade, i.e., econômica, social, ambiental e institucional.

Baseado em Ferreira *et al* (2011) e Costa *et al.* (2002), assume-se que as barragens subterrâneas têm três modos de utilização: produção agrícola, oferta de água e ganhos ambientais. Assim, os decisores precisam equacionar os múltiplos usos dos serviços, de modo a otimizar a satisfação dos beneficiários.

O método AHP é utilizado para avaliar as alternativas em relação aos critérios, identificar a importância relativa de cada critério, em relação ao foco principal, e determinar a medida global de cada alternativa.

A seguir, são apresentadas as etapas necessárias à modelagem do problema por meio do método AHP:

a) Foco principal

O objetivo principal é identificar o padrão de barragem subterrânea que gere maiores benefícios aos usuários dentre as modalidades identificadas. Este foco foi estabelecido, tendo em vista que a barragem subterrânea é objeto de políticas públicas e fundamenta-se nos pressupostos do desenvolvimento sustentável, tecnologia social e convivência com o semiárido.

b) Identificação das alternativas

Todas as barragens em uso geram, em graus diferentes, produção agrícola, oferta de água e geração de ganhos ambientais. Essa diversidade ocorre devido às características fisiográficas locais e das necessidades dos usuários e não há diferenciação técnica, de construção da barragem, direcionada para atender qualquer um dos três usos. O que se pretende, com esta análise, é saber a gradação ou o ranque das barragens subterrâneas, segundo a importância das três formas de contribuição.

Seguindo esta lógica, as alternativas a serem avaliadas são:

- Barragem subterrânea focada na produção agrícola.
- Barragem subterrânea focada na oferta de água.
- Barragem subterrânea focada em ganhos ambientais.

c) Identificação dos critérios

Nesta etapa, os critérios foram escolhidos com base nos resultados das entrevistas e na ampla pesquisa documental e bibliográfica realizadas.

No presente estudo, optou-se por utilizar apenas um nível hierárquico de critérios tendo em vista que as barragens subterrâneas ainda não se configuram como empreendimentos consolidados e estudados com a profundidade que se permita extrair informações interdisciplinares consistentes

e por existirem poucos especialistas no assunto. No teste-piloto do questionário com a inserção de subcritérios, os especialistas não conseguiram fazer os julgamentos de forma consistente, razão pela qual se decidiu limitar a adoção de apenas uma linha de critérios.

A propósito, Boas (2007); Ben (2006); e Figueiredo Júnior (2009), ao utilizarem o método AHP para estudar, respectivamente, usos múltiplos de reservatórios, investimento ambiental e infraestrutura sanitária, utilizaram apenas uma camada de critérios sem, no entanto, justificar a razão por não terem recorrido a subcritérios.

Os critérios selecionados estão apresentados no Quadro 9. A identificação e o contorno dos critérios foram realizados, focando-se nas quatro dimensões do desenvolvimento sustentável (ambiental, social econômico e institucional), contemplados no método Painel de Sustentabilidade, também aplicado nesta tese, e nos axiomas e pressupostos do método AHP.

A identificação dos critérios atendeu às características da barragem subterrânea e a sua função como tecnologia social. Assim, o critério Viabilidade Econômica, associado à dimensão econômica, reflete uma *proxy* da relação benefício/custo, enquanto o critério Ganhos Sociais, aderente à dimensão social, traduz os impactos sociais das barragens subterrâneas. O critério Impacto Ambiental, por sua vez, está associado aos ganhos e perdas ambientais, provocados pela barragem e, por fim, a efetividade político-institucional, atrelada à dimensão institucional, incorpora o desempenho das políticas públicas, direcionadas às barragens subterrâneas.

#### d) Estruturação da hierarquia

O desenho da hierarquização (Figura 11) é apresentado para ilustrar o relacionamento funcional dos elementos integrantes do modelo, ou seja, as linhas com foco principal, com os critérios e a linha das alternativas. A lógica do processo é *botton-up* (de baixo para cima), tendo em vista que, no tema estudado, as alternativas selecionadas são, *a priori*, melhor compreendidas, em relação aos objetivos ou foco principal.

Com base na estrutura da hierarquia, da Figura 11, e nos objetivos desta tese, foram identificados: o foco principal, os critérios e as alternativas.

Figura 11 - Hierarquia do problema estudado por meio do método AHP de Saaty



### 4.3 Coleta de dados

Neste tópico, é definido o universo da pesquisa de campo, realizada junto aos agricultores, e demonstrada a técnica de amostragem. É, também selecionada a amostra e sua distribuição espacial, além da apresentação dos questionários aplicados junto aos agricultores proprietários das barragens e junto aos especialistas e decisores ligados ao tema.

#### 4.3.1 Amostragem

Do total de 513 barragens construídas no Ceará, estima-se que apenas 278 (54%) estavam sendo exploradas pelos agricultores, em 2014, ano de referência da pesquisa de campo.

Portanto, estabeleceram-se como o universo amostral as 278 barragens, em atividade no ano de 2014, do qual foi extraída uma amostra não probabilística, em razão da inexistência de cadastros oficiais detalhados.

O tamanho da amostra é calculado com base em Bolfarine; Bussab (2005), conforme a seguinte fórmula:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p) + e^2 \cdot (N - 1)}$$

Onde:

**N:** tamanho da amostra;

**N:** representa o universo de barragens subterrâneas que atendem aos pressupostos do estudo (N = 278);

**Z:** variável normal padronizada associada ao nível de confiança de 95%;

**p:** valor igual a 0,5 (variância máxima da distribuição binomial);

**e:** erro amostral (0,05).

O tamanho da amostra foi estimado em 39 barragens subterrâneas, considerando um nível de confiança de 95%, erro amostral de 0,05% e tamanho da população de 278 barragens. Porém, foram coletados dados de 51 barragens subterrâneas e descartados, por inconsistência, 11 questionários. A seleção dos municípios foi realizada com base em relatório de monitoramento da Ematerce, com registro das barragens subterrâneas financiadas pela Secretaria do Desenvolvimento Agrário e construídas no período de 2011-2014 (EMATERCE, 2015). A identificação da barragem/agricultor, objeto da pesquisa, foi executada com a supervisão da Ematerce, dos municípios selecionados, em função da experiência e conhecimento da realidade. Recomendou-se que todas as barragens com utilização efetiva em 2014, nos municípios selecionados, fossem pesquisadas, tendo sido adotado o critério de seleção por exaustão.

Assim, a distribuição das 40 barragens, analisadas em 11 municípios do estado do Ceará, é decorrente da adoção do critério de estratificação, baseado no Relatório da Ematerce, em que se elegeram os municípios com pelos menos três barragens construídas no período, independentemente se estavam ou não em uso.

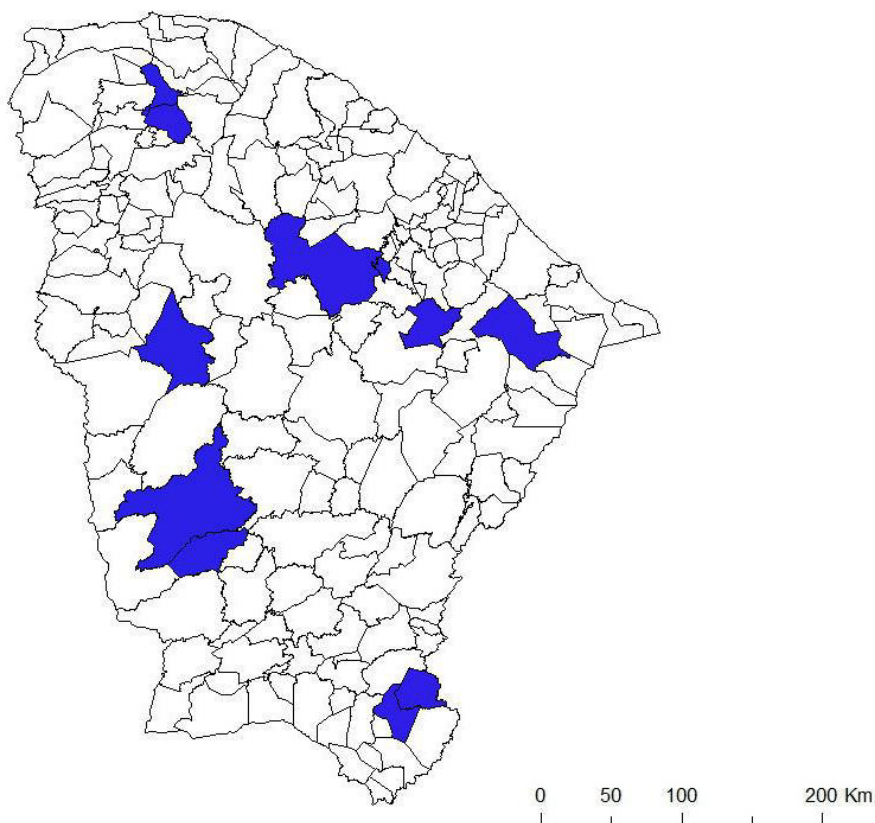
Não constam na pesquisa, os municípios de Itapagé e Irauçuba, com mais de três barragens construídas, devido à demora excessiva no retorno dos questionários. O resultado da distribuição, segundo o município, é mostrado na Tabela 3 e Figura 12.

Tabela 3 - Municípios selecionados para pesquisa de campo sobre barragens subterrâneas, 2014

Municípios	Nº de barragens	Localidades do município
Aratuba	3	Comunidade Pai João, Comunidade Serrinha de Cima e Serrinha do Meio.
Arneiroz	2	Comunidade Cachoeira de Fora.
Barro	6	Comunidades de Riachão e Solta.
Canindé	3	Distrito de Iguaçu, Assent. Lages, Comunidade Cacimba de Dentro
Ibaretama	1	Assentamento Tesouro
Massapê	2	Comunidade de Cacimbinha e Santa Luzia
Milagres	6	Comunidades Valdevino e Rosário.
Russas	2	Comunidades de Coaçu e Fradinho.
Senador Sá	1	Comunidade de Paus Branco
Tamboril	10	Distrito Sede, Comunidade Curatis, São João, Holanda, Açudinho e Riacho Fundo.
Tauá	4	Distrito Sede, Comunidade Barra Nova, Junco e Lustral.
Total	40	-

Fonte: pesquisa do autor

Figura 12 – Mapa do Ceará com identificação dos municípios onde foi realizada a pesquisa de campo





#### 4.3.2 Questionário dos indicadores das barragens subterrâneas

O questionário aplicado (Apêndice A), elaborado tendo como pressupostos as dimensões do desenvolvimento sustentável e o método Painel de Sustentabilidade foram dividido em quatro partes, sendo a econômica, com oito questões; a social, com 12 itens; a ambiental, com 11 indagações; e a institucional, com 12 perguntas; perfazendo um total de 43 questões. O questionário, todo estruturado, possibilitou a construção de 48 variáveis que, após a análise de consistência, redundou em 45.

O questionário aplicado junto aos agricultores foi concebido com base nas variáveis necessárias para a construção do Painel de Sustentabilidade, as quais são apresentadas no Quadro 1. Também, levaram-se em consideração os resultados da pesquisa-piloto, realizada nos municípios de Canindé e Aratuba, no mês de abril de 2015, em que foi feito o pré-teste do questionário junto aos agricultores, visita a barragens inseridas na amostra e a identificação do perfil do respondente, para adequar as perguntas do questionário. Foram valiosas, ainda, as sugestões de vários especialistas e de agentes públicos, centradas no consenso, que permitiram o aperfeiçoamento do questionário.

A principal dificuldade na coleta de dados ocorreu devido à inexistência de um cadastro geral das barragens subterrâneas no Estado do Ceará, o que dificultou a localização e situação atual das mesmas. Nesta fase da pesquisa, contou-se com a colaboração dos técnicos dos escritórios locais da Ematerce, que auxiliaram na localização das barragens subterrâneas e na aplicação dos questionários. O período de pesquisa de campo ocorreu de junho a agosto de 2015. Dos 51 questionários aplicados, 11 foram descartados por não atenderem aos pressupostos estabelecidos no planejamento da pesquisa de campo, ou seja, preenchimento incompleto, inconsistências ou as barragens não foram exploradas em 2014.

#### 4.3.3 Entrevistas com especialistas e decisores para o Método AHP

Para a adoção do Método AHP, foi necessário selecionar os atores mais relevantes, para fornecer os pesos entre alternativas, a partir dos questionários apresentados no Apêndice B. Para este estudo, entrevistou-se 11 pessoas,

entre especialistas e decisores, com reconhecida competência na área de barragens subterrâneas do Estado do Ceará (Quadros 8).

Quadro 8 – Atores entrevistados que forneceram os pesos para aplicação do método AHP

Formação	Vínculo institucional	Estado	Qualificação	Perfil do ator
Agrônomo, mestre em solos	Ematerce	CE	Autor de vários estudos sobre tecnologias e convivência com o semiárido	Especialista e decisor
Agrônomo, mestre em irrigação	Secretaria do Desenvolvimento Agrário	CE	Especialista em tecnologias de convivência com o semiárido.	Especialista
Agrônoma, mestre	Funceme	CE	Especialista em tecnologias hidroambientais e integrante da equipe do PRODHAM/Banco Mundial.	Especialista
Agrônomo, Mestre em economia rural	Secretaria dos Recursos Hídricos	CE	Ex-Coordenador do PRODHAM.	Decisor e especialista
Agrônomo	SOHIDRA	CE	Ex-Coordenador do PRODHAM.	Decisor e especialista
Agrônomo, doutor em irrigação	Secretaria do Desenvolvimento Agrário	CE	Coordenador do Programa de Barragens Subterrâneas.	Decisor especialista
Geólogo, mestre em geologia	Geológica Ltda	CE	Consultor em meio ambiente	Especialista
Agrônomo, mestre	Senar	CE	Técnico em meio ambiente	Especialista
Agrônomo, mestre	Federação da Agricultura do Ceará	CE	Técnico em agricultura e pecuária	Especialista
Engenheira civil, mestre	Secretaria dos Recursos Hídricos	CE	Especialista em recursos hídricos no semiárido	Decisor especialista
Agrônomo, mestre em solos	Secretaria do Desenvolvimento Agrário	CE	Especialista em solos e em tecnologias hidroambientais	Especialista

Fonte: elaboração do autor

Referidos questionários foram elaborados com base no método AHP e levando em consideração a experiência do autor e as sugestões dos especialistas na área de barragem subterrânea. Foram realizadas três entrevistas-piloto para ajustar o questionário. Nessa fase, constatou-se a necessidade de se eliminar da modelagem a camada de subcritérios, em razão dos três entrevistados não se sentirem seguros em seus julgamentos.

As entrevistas foram realizadas com especialistas e decisores, no primeiro semestre de 2015, na cidade de Fortaleza. Duas entrevistas, consideradas importantes para a pesquisa, não foram possíveis de serem realizadas, como foi o caso dos sociólogos especialistas em barragens subterrâneas. Para suprir esta lacuna, fizeram parte do rol de entrevistados, dois especialistas, com experiência na dimensão social das barragens subterrâneas, sendo um agrônomo, com vasta experiência em políticas sociais para o meio rural, inclusive, com barragens subterrâneas, e um ambientalista, com formação em geologia e mobilização social.

As entrevistas, com especialistas e decisores envolvidos com barragens subterrâneas, geraram dados para a modelagem da análise multicriterial AHP. Antes de responder aos questionários, o facilitador (autor desta tese) fez uma apresentação dos fundamentos, objetivos e da estratégia de resposta do questionário.

Os 11 questionários foram agrupados em um único bloco de matrizes de julgamento (pesos), com a aplicação da média geométrica dos pesos, fornecida pelos 11 entrevistados. O tratamento dos dados (matrizes) coletados foi executado por meio de planilhas eletrônicas Excel, elaborados para este fim.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, inicialmente, são discutidos os resultados encontrados com a aplicação do método Painel de Sustentabilidade, seguindo as etapas do método proposto. Em seguida, apresenta-se os resultados do método AHP. Finalmente, faz-se uma análise conjunta dos resultados obtidos com os dois métodos.

### 5.1 Indicadores do Painel de Sustentabilidade

Visando selecionar um subconjunto de variáveis ou indicadores mais robustos e atenuar a limitação da inexistência de pesos no método Painel de Sustentabilidade, optou-se pela utilização da Análise de Componentes Principais, que reduziu as 45 variáveis originais tabuladas (indicadores) em 28 componentes principais (Quadro 9). A distribuição das componentes principais por dimensão é a seguinte:

- Dimensão ambiental: 7 indicadores;
- Dimensão social: 6 indicadores;
- Dimensão econômica: 7 indicadores;
- Dimensão institucional: 8 indicadores.

A redução do número de variáveis/indicadores, para a análise por meio do método Painel de Sustentabilidade, foi realizada com base na escolha das componentes com carga igual ou superior a  $|0,70|$ , conforme demonstrado no Apêndice D.

Objetivando selecionar, dentre as 45 variáveis originais, aquelas mais significantes, em termos de minimização da correlação entre elas, realizou-se a análise de componentes principais, que resultou na identificação dos pesos ou cargas, de cada uma das 45 variáveis originais (coluna 3 do Quadro 9).

Considerando o peso mínimo de 0,7 como escolha, pode-se observar, a partir da coluna 3 do Quadro 9, que das 11 variáveis originais, da dimensão ambiental, apenas sete componentes principais apresentaram significância. Na dimensão social, foram excluídas cinco variáveis originais de um total de 11.

Quadro 9 – Identificação dos indicadores selecionados para o Painel de Sustentabilidade e as componentes principais

Dimensão	Indicadores selecionadas (variáveis originais)	Carga das componentes principais
Ambiental	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Área explorada com agricultura.</li> <li>2. Área da bacia hidráulica, em ha.</li> <li>3. % de barragens com média salinidade.</li> <li>4. % de barragens com solo de boa qualidade.</li> <li>5. Área de mata ciliar, em ha.</li> <li>6. % de melhoria da flora e da fauna</li> <li>7. Nível do poço em novembro/2014 (m).</li> <li>8. % de barragens que encheram em 2014.</li> <li>9. % de barragens com uso de adubo orgânico</li> <li>10.% de barragens com uso de fertilizantes.</li> <li>11.% de barragens com uso de agrotóxicos.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. CP = 0,56</li> <li>2. CP = 0,41</li> <li>3. CP = 0,76*</li> <li>4. CP = 0,50</li> <li>5. CP = 0,81*</li> <li>6. CP = 0,61</li> <li>7. CP = 0,78*</li> <li>8. CP = 0,81*</li> <li>9. CP = 0,76*</li> <li>10.CP = 0,77*</li> <li>11.CP = 0,77*</li> </ol>
Social	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Envolvimento da comunidade na construção.</li> <li>2. % de mão de obra familiar na agricultura.</li> <li>3. Quantidade de jovens na agricultura.</li> <li>4. Nº de pessoas beneficiadas com água.</li> <li>5. Mulheres trabalhando na agricultura.</li> <li>6. Nível educacional do proprietário.</li> <li>7. Quantidade máxima de água acumulável.</li> <li>8. Migração sazonal de membros da família.</li> <li>9. Renda familiar de programas sociais.</li> <li>10.Consumo familiar de água da barragem.</li> <li>11.Nível de satisfação com a barragem.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. CP = 0,64</li> <li>2. CP = 0,72*</li> <li>3. CP = 0,76*</li> <li>4. CP = 0,82*</li> <li>5. CP = 0,46</li> <li>6. CP = 0,64</li> <li>7. CP = 0,71*</li> <li>8. CP = 0,32</li> <li>9. CP = 0,73*</li> <li>10.CP = 0,76*</li> <li>11.CP = 0,65</li> </ol>
Econômica	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Valor do investimento na barragem.</li> <li>2. Valor dos investimentos em benfeitorias.</li> <li>3. Custo operacional em 2014.</li> <li>4. Quantidade de explorações agrícolas.</li> <li>5. Gasto com energia elétrica</li> <li>6. Receita bruta anual.</li> <li>7. % da área com forrageiras s/total.</li> <li>8. Excedente vendido.</li> <li>9. Autoconsumo.</li> <li>10.Empréstimos.</li> <li>11.Valorização da terra.</li> <li>12.Homens/dia utilizados na agricultura.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. CP = 0,65</li> <li>2. CP = 0,77*</li> <li>3. CP = 0,83*</li> <li>4. CP = 0,79*</li> <li>5. CP = 0,81*</li> <li>6. CP = 0,88*</li> <li>7. CP = 0,66</li> <li>8. CP = 0,76*</li> <li>9. CP = 0,63</li> <li>10.CP = 0,49</li> <li>11.CP = 0,58</li> <li>12.CP = 0,98*</li> </ol>
Institucional	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Número de horas de capacitação.</li> <li>2. Frequência da assistência técnica pública.</li> <li>3. Visitas de monitoramento, em 2014.</li> <li>4. % de barragens concluídas em 2014.</li> <li>5. Extensão do eixo barrado.</li> <li>6. Profundidade da vala.</li> <li>7. % de rigor técnico na locação da barragem.</li> <li>8. Participação em eventos s/ a barragem.</li> <li>9. Servidão pública da barragem</li> <li>10. Envolvimento de associações da comunidade.</li> <li>11.Efeito demonstração das barragens.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. CP = 0,83*</li> <li>2. CP = 0,73*</li> <li>3. CP = 0,79*</li> <li>4. CP = 0,71*</li> <li>5. CP = 0,77*</li> <li>6. CP = 0,57</li> <li>7. CP = 0,79*</li> <li>8. CP = 0,81*</li> <li>9. CP = 0,19</li> <li>10.CP = 0,69</li> <li>11.CP = 0,80*</li> </ol>

Fonte: CGSDI (2007); Van Bellen (2002) e o autor

(\*) Componente principal

Das 12 variáveis da dimensão econômica, mostraram-se significantes apenas sete e, por fim, foi na dimensão institucional, em que o maior número de variáveis originais se mostra significativas, ou seja, das 11 pesquisadas, 8 têm peso ou carga igual ou superior a 0,7. Em termos globais, das 45 variáveis originais, apenas 28 alcançaram o peso, definido como o mais adequado para este tipo de pesquisa, que trata de indicadores.

Os indicadores/componentes principais, com peso ou carga superiores a 0,7, estão destacados por asterisco e apresentados na coluna 3 do Quadro 9 e descritos no Quadro 7(a) a 7(d).

### 5.1.1 Importância dos indicadores, segundo o valor obtido e o grau de significância estatística

As Tabelas de 4 a 7 apresentam, por dimensão, as métricas das variáveis ou componentes principais da barragem-padrão (coluna 2), da pesquisa de campo (coluna 3) e o indicador, calculado por meio do método Painel de Sustentabilidade (coluna 3). Adicionalmente, é feita a análise adotando-se o ISA (Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas) que estabelece o valor de 700 pontos para o indicador do painel, como o patamar acima do qual, pode-se afirmar que o evento é sustentável.

Nesta análise, recorre-se, também, às estatísticas descritivas (média aritmética, desvio padrão, valor máximo e mínimo) das variáveis quantitativas, obtidas na pesquisa de campo e apresentadas no Apêndice E.

#### a) Indicadores da dimensão ambiental

Com base na Tabela 4, observa-se que quatro indicadores (salinidade, uso de agrotóxico, mata ciliar e nível do poço), do total de sete, estão acima de 700 pontos. Cabe registrar a importância da “baixa salinidade da água” da barragem e o “elevado nível de água do poço”. A primeira constatação desfaz a impressão de analistas, que afirmam serem as barragens subterrâneas fontes de salinização do solo, em função do manejo inadequado (COSTA *et al.*, 2011; MELO *et al.*, 2010), pois apenas 7,5% das barragens tem alto grau de salinidade na visão dos agricultores.

A segunda é que as barragens não acumulam água em períodos de escassez de chuvas, como foi o caso de 2014<sup>5</sup>, em que a média de chuvas, nos 11 municípios pesquisados, foi de 614,9 mm, ou seja, 25% abaixo do esperado.

Tabela 4 - Indicadores de sustentabilidade da dimensão ambiental, calculados para as barragens subterrâneas do Ceará

Variável	Valor padrão (= 1.000 pontos) (A)	Valor médio da pesquisa de campo (B)	Indicador do Painel [(B/A)x1000]
% de barragens com média salinidade.	60	57	950
% de barragens em que foram usados agrotóxicos.	0	5 <sup>(*)</sup>	950
Área de mata ciliar.	1,0	0,9	900
Nível do poço em novembro/2014 (m).	1,0	0,79	790
% de barragens em que foi usado adubo orgânico, conforme a necessidade.	50	30	600
% de barragens que encheram completamente em 2014.	100	27,5	275
% de barragens em que foi usado fertilizante natural, conforme a necessidade.	30	7,5	250

Fonte: elaboração do autor

(\*) Como há ineficiência em relação ao padrão esperado, o indicador fica abaixo de 1.000 pontos. É proibido usar agrotóxicos em explorações de barragens subterrâneas. O cálculo do indicador foi feita da seguinte forma: 5% equivale a 2 agricultores. 40 agricultores equivale a 1000 pontos, logo, dois agricultores equivale a 50 pontos. Como o evento reflete ineficiência, os 50 pontos são negativos e o indicador é  $1.000-50=950$  pontos.

Os dois indicadores que obtiveram valores menores são: “uso de fertilizantes” (250 pontos) e “barragens que não encheram completamente” (275 pontos). Esperava-se que o uso de fertilizantes naturais fosse mais elevado, visto que a bacia hidráulica da barragem tem baixa fertilidade, em função de ser leito de um rio ou riacho.

-----

<sup>5</sup>Segundo dados obtidos no site da Funceme ([www.funceme.br](http://www.funceme.br)), nos 11 municípios pesquisados, a média das precipitações pluviométricas, em 2014, foi de 614,9 mm quando a média histórica é de 821,8 mm, 25% abaixo do normal.

Quanto ao “não enchimento das barragens”, dois fatores podem ser apresentados: (i) em alguns municípios pesquisados, a seca foi mais severa (Canindé, Massapê, Russas e Sanador Sá), (ii) a real possibilidade de a barragem conter vazamentos, decorrentes de defeitos na construção.

A qualidade do solo da bacia hidráulica da barragem, mesmo não fazendo parte do Painel de Sustentabilidade, foi classificada, por 100% dos entrevistados, como sendo de boa e média qualidade. Da mesma forma,

observou-se que houve melhoria da fauna e da flora da mata ciliar, lindeira à barragem, em 63%, na forma de maior vigor das plantas, mais floração, maior presença de animais silvestres.

#### b) Indicadores da dimensão social

A partir da Tabela 5, observa-se que três indicadores obtiveram pontuação superior a 700 pontos (limiar da sustentabilidade). Um deles é a “utilização da mão de obra familiar nas explorações agrícolas”, fato que vem ao encontro dos objetivos das barragens que são: ocupar a mão de obra familiar e produzir alimentos no período de estiagem.

O outro é a “elevada capacidade de acumulação de água das barragens construídas” (13.000 m<sup>3</sup>), por ser uma constatação alvissareira, devido à importância da acumulação de água, de forma pulverizada, em regiões semiáridas habitadas por pequenos agricultores. Na estratificação deste indicador, observou-se que 30% das barragens pesquisadas podem acumular um volume superior a 15.000 m<sup>3</sup>.

O terceiro é a origem de “fonte de renda familiar em programas sociais”, o que denota que os beneficiários são famílias de baixa renda e, com a exploração da barragem, podem gerar receitas originárias de atividades produtivas, podendo até abdicar dos benefícios de programas sociais, como o Bolsa Família.

Dois indicadores mostraram valores abaixo do nível de sustentabilidade. Um é o “consumo de água da barragem pela família do beneficiário”, que atingiu a métrica de 313, quando se esperava valores maiores que 700 pontos, como média geral. No entanto, os dados da pesquisa de campo registram que apenas 27,5% ou 11 das famílias dos beneficiários consumiram água de suas barragens



subterrâneas. O consumo dessas 11 famílias foi, em média, de 1,7 m<sup>3</sup> de água por semana, superior ao estabelecido para a barragem padrão que foi de 1,5 m<sup>3</sup> de água. Dois fatores parecem justificar o alto percentual (72,5%) de famílias que não utilizam água de suas barragens. O primeiro é o fato de muitas comunidades já contarem com o fornecimento de água encanada ou outra forma de abastecimento e o segundo é a distância da barragem para a residência do beneficiário.

Tabela 5 - Indicadores de sustentabilidade da dimensão social, calculados para as barragens subterrâneas do Ceará

Variável	Valor padrão (=1.000 pontos) (A)	Valor médio da pesquisa de campo (B)	Indicador do Painel [(B/A)x1000]
% de mão de obra familiar nas explorações agrícolas.	90	86,5	961
Quantidade máxima de água que pode ser acumulada (em m <sup>3</sup> ).	15.000	13.425	895
Renda familiar originária do Programa Bolsa Família e/ou aposentadoria (beneficiário).	2	1,7	850
Quantidade de jovens nas explorações agrícolas da barragem.	1	0,55	550
Nº de pessoas da comunidade beneficiadas com água, para todos os fins.	15	6,15	410
Consumo familiar de água da barragem, em m <sup>3</sup> /semana.	1,5	0,47	313

Fonte: elaboração do autor

O outro indicador que apresentou métrica abaixo do esperado (410 pontos) é a “utilização de água da barragem pela comunidade”. O resultado da pesquisa constata que apenas 6,15 pessoas da comunidade utilizaram água da barragem, para uma métrica-padrão de 15 pessoas. Como não foi identificada nenhuma barreira ao acesso da água, o motivo deve-se aos mesmos fatores da pouca utilização da água pelo beneficiário direto. Essas constatações permitem inferir que a água da barragem tem como objetivo principal a exploração agrícola e a dessedentação dos animais. A propósito, nas tabulações de pesquisa de campo consta que 47,5% dos poços estavam secos em novembro de 2014.

c) Indicadores da dimensão econômica

O conjunto de indicadores desta dimensão (Tabela 6) foi o de pior desempenho, se comparado aos demais, haja vista que nenhum deles ultrapassou o limiar de sustentabilidade de 700 pontos. A maior pontuação foi para o indicador de “utilização de homens/dia nas explorações agrícolas”, com 422 pontos, e o menor ficou para “receita com a venda do excedente”, com 32 pontos. Dos 71 homens/dia estabelecidos para a barragem-padrão, a pesquisa de campo registrou uma média de apenas 29,8 homens/dia. Registre-se que 35% do total de agricultores não possuem nenhum ano de escolaridade formal. Quanto à “venda do excedente de produção”, a pesquisa aponta que apenas sete produtores praticaram esta operação e a média das vendas foi de R\$ 748,00, quando o esperado seria R\$ 4.000,00.

Outros dois indicadores emblemáticos da dimensão econômica, mas que a pesquisa de campo mostrou baixa relevância, são: “número de explorações” e “investimento em benfeitorias”. Foram previstos, para uma barragem-padrão, cinco explorações, quando foram identificadas, na pesquisa de campo, apenas duas, com área média explorada de 1,3 ha/barragem e, deste total, 60,6% era utilizada para produção de forrageiras. Com área explorada inferior a 1 ha existiam 26 (65%) agricultores, quando o esperado seriam 2 ha. O investimento em benfeitorias atingiu apenas 15,3% do previsto na barragem-padrão.

Constatou-se, com a tabulação dos dados de campo, que as barragens subterrâneas, implantadas pela Ematerce, obtiveram o maior valor bruto da produção, em relação às demais instituições, com uma média de R\$ 3.393,11. O menor valor verificado ocorreu com as barragens subterrâneas, implantadas pelas ONGs, que atingiu tão somente o valor de R\$ 755,00.

Considerando que a barragem viabiliza a exploração de até dois hectares de culturas agrícolas, com subirrigação (de baixo custo), no período de estiagem, e a utilização da mão de obra familiar, no período de ociosidade, é recomendável a revisão dos programas de apoio às barragens subterrâneas, que deverão mudar o foco de obras de engenharia agrícola para implantação de empreendimentos sustentáveis, sob o ponto de vista econômico, social e ambiental.

Tabela 6 - Indicadores de sustentabilidade da dimensão econômica, calculados para as barragens subterrâneas do Ceará

Variável	Valor padrão (= 1.000 pontos) (A)	Valor média da pesquisa de campo (B)	Indicador do Painel [(B/A)x1000]
Homens/dia, por ano, utilizados na exploração da barragem.	71	30	422
Quantidade de explorações agrícolas relevantes.	5	2	400
Receita bruta anual ou valor bruto da produção, em R\$.	7.800,00	1.744,78	223
Custo operacional da exploração em 2014. (2 hectares)	3.400,00	657,58	193
Valor dos investimentos em benfeitorias: cercas, forrageira, arado, moto-bomba, eletrificação e equipamentos de irrigação, em R\$.	7.500,00	1.150,38	153
Gasto com energia elétrica em 2014, em R\$	150,00	15,50	103
Receita com a venda do excedente produção, em R\$.	4.000,00	127,50	32

Fonte: elaboração do autor

#### d) Indicadores da dimensão institucional

Os resultados da pesquisa indicam que as barragens subterrâneas pesquisadas foram construídas no período de 1998 a 2014, sendo que o último ano considerado representou 35% do total. Do total de barragens pesquisadas, 15% foram construídas pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará; 22,5% pela Ematerce; 45% pela Secretaria do Desenvolvimento Agrário, por meio de ONGs; e os outros 17,5% foram implantadas por ONGs sem o apoio financeiro do Governo do Estado do Ceará.

Os indicadores apresentados na Tabela 7, arrolados nesta dimensão, refletem o viés dos agentes de governo no apoio à implantação de barragens subterrâneas, ou seja, obra de engenharia agrícola de caráter emergencial. As magnitudes dos indicadores “extensão do eixo barrável (968)”, “visitas de monitoramento (850)” e “barragens concluídas (700)”, situadas acima do limiar da sustentabilidade, é um reflexo desta política.

Tabela 7 - Indicadores de sustentabilidade da dimensão institucional, calculados para as barragens subterrâneas do Ceará

Variável	Valor padrão (= 1.000 pontos) (A)	Valor médio da pesquisa de campo (B)	Indicador do Painel [(B/A)x1000]
Extensão do eixo barrado, em metros.	50	51,6 <sup>(*)</sup>	968
Visitas de monitoramento, em 2014, feitas por agentes do Governo (financiador).	1	0,85	850
% de barragens que estavam concluídas para exploração em 2014.	100	70	700
Participação em eventos relacionados à barragem (nº)	2	1,15	575
% de rigor técnico na locação da barragem.	100	53	530
Frequência da assistência técnica pública: número de visitas em 2014.	4	1,7	425
Efeito demonstração provocado pelas barragens. (quantidade de visitas).	4	1,6	400
Número de horas de capacitação teórica e com dias de campo dos beneficiários (construção e exploração).	50	18,3	366

Fonte: elaboração do autor

(\*) Como há ineficiência em relação ao padrão esperado, o indicador fica abaixo de 1.000 pontos. A extensão do eixo acima de 50 m eleva o custo de construção da barragem. O cálculo do indicador foi feita da seguinte forma: [(B/A)x1000]=1032, logo, subtrai-se 32 de 1000, ficando 968 pontos.

Recorrendo-se aos resultados da pesquisa de campo, constatou-se que 37,5% barragens não receberam assistência técnica e, com apenas uma visita, foram contemplados 27,5% dos agricultores. Estes resultados devem estar contribuindo para o baixo desempenho das explorações agrícolas das barragens. A extensão do eixo barrado de até 79m foi constatada em 90%, das barragens, muito acima da extensão padrão, o que pode ser decorrente de problemas na locação. Outro resultado inesperado foi a profundidade média da vala que, para o intervalo de 3,1m a 4 m, alcançou o percentual de 57,5%. O padrão recomendado é de 2,5 m.

Essa ação é de elevada importância, no entanto, é incompleta, sendo necessário que sejam incorporadas a outras ações com efeitos econômicos, conforme sinalizam os indicadores de: “capacitação para produção” (366

pontos), “assistência técnica” (425 pontos) e “efeito demonstração” (400 pontos). A pesquisa registou que a média de capacitação é de apenas 18,5 horas/aula sobre barragens subterrânea, quando o ideal seriam 50 h/a. A propósito, a pesquisa registou que quanto maior o número de horas de capacitação maior é a área explorada. Para o extrato de “mais de 60 horas de capacitação”, a área explorada média foi de 1,93. A assistência técnica que deveria ser realizada, pelo menos, por quatro visitas técnicas às barragens, atingiu apenas 1,67 visitas. Quanto às visitas feitas a título de efeito demonstração, foram apenas 1,6 para um parâmetro padrão de quatro.

Como destaque, apresenta-se o indicador “locação da barragem”, que atingiu a métrica de apenas 530 pontos, quando deveria ser 1.000 pontos, por ser a fase crucial da construção da barragem. Uma locação inadequada, enseja barragens com baixa capacidade de acumulação de água, elevado custo de construção, elevada salinidade e possibilidade de vazamento, enfim, torna a barragem inviável e o programa governamental ineficiente. A pesquisa de campo mostrou, quanto à locação, o que segue: a) em nenhuma barragem foi feito um estudo técnico de locação completo; b) 32,5% foram projetadas com estudo de locação parcial; c) 65,0% recorrem somente à experiência e d) 2,5% não adotaram nenhum critério na locação da barragem.

#### 5.1.2 Desempenho dos indicadores, segundo o grau de sustentabilidade e a dimensão

Neste item, a análise será realizada com base nos parâmetros do método Painel de Sustentabilidade (Tabelas 10 a 14), em que os indicadores serão identificados pelo seu grau de sustentabilidade e pela cor assumida na escala estabelecida pelo referido método.

##### a) Dimensão ambiental

Na dimensão ambiental (Quadro 10), três indicadores obtiveram grau “excelente de sustentabilidade”, assumindo o verde escuro da escala de cores. Um indicador assumiu o verde claro (uso de adubo orgânico), com desempenho razoável e os dois restantes foram alocados na cor vermelho

médio claro (barragens que encheram e uso de fertilizantes), com desempenho “muito ruim”.

Quadro 10 – Desempenho dos indicadores das barragens subterrâneas do Ceará para a dimensão ambiental

Parâmetros do Painel de Sustentabilidade			Indicadores das barragens subterrâneas, segundo o desempenho
Escala de Cores	Grau de Sustentabilidade	Intervalo de Pontos	
	Excelente	889-1000	Área de mata ciliar em ha Não usa agrotóxicos Grau de salinidade da água
	Muito Bom	778-888	Nível de água do poço
	Bom	667-777	- - -
	Razoável	556-666	Uso de adubo orgânico
	Médio	445-555	- - -
	Ruim	334-444	- - -
	Muito Ruim	223-333	Barragens cheias em 2014 Uso de fertilizantes naturais
	Atenção Severa	111-222	- - -
	Estado Crítico	0-110	- - -

Fonte: IISD (1999) e autor

A partir da revisão de literatura (SILVA, *et al.*, 1998; FERREIRA, *et al.*, 2011; ARAÚJO, 2012; EMBRAPA, 2014), identificou-se casos exitosos de barragens subterrâneas, podendo-se inferir que os indicadores, abaixo do padrão esperado, podem ser revertidos a baixo custo. Na realidade, torna-se necessária, na elaboração e aperfeiçoamento das políticas públicas para barragens subterrâneas, a incorporação do entendimento de que tal intervenção assume objetivos fundamentais: barragem subterrânea como ativo ambiental, como tecnologia social e como empreendimento economicamente viável.

#### b) Dimensão social

Nesta dimensão, dois indicadores obtiveram grau de sustentabilidade “excelente” e um “muito bom” (Quadro 11), assumindo cor “verde escuro” --- “utilização da mão de obra familiar” e “quantidade de água acumulável”. Esses indicadores são relevantes pelo que representam para os pequenos agricultores do semiárido. O indicador “consumo familiar de água da barragem”

é de grande importância, por retratar um dos principais objetivos da barragem subterrânea, no entanto, seu desempenho foi “muito ruim”, ensejando uma revisão nas políticas governamentais de apoio às barragens subterrâneas.

Quadro 11 – Desempenho dos indicadores das barragens subterrâneas do Ceará para a dimensão social

Parâmetros do Painel de Sustentabilidade			Indicadores das barragens subterrâneas, segundo o desempenho
Escala de Cores	Grau de Sustentabilidade	Intervalo de Pontos	
	Excelente	889-1000	Utilização da mão de obra Quantidade de água acumulável
	Muito Bom	778-888	Renda familiar de programas sociais
	Bom	667-777	- - -
	Razoável	556-666	- - -
	Médio	445-555	Jovens nas explorações agrícolas
	Ruim	334-444	Pessoas da comunidade beneficiadas
	Muito Ruim	223-333	Consumo familiar de água da barragem
	Atenção Severa	111-222	- - -
	Estado Crítico	0-110	- - -

Fonte: IISD (1999) e autor

Outro desempenho que não atingiu seu objetivo foi a do indicador “pessoas da comunidade beneficiadas com água”, por ter obtido desempenho “ruim” (vermelho claro), quando deveria estar no grupo de cores verde, visto que a barragem subterrânea é uma tecnologia social, que pressupõe o máximo de benefício às comunidades próximas às barragens.

#### c) Dimensão econômica

É observado, no Quadro 12, que os graus de sustentabilidade de todos os sete indicadores assumiram variados tons de vermelho. É a dimensão em que os indicadores, em conjunto, alcançaram o pior desempenho dentre as quatro estudadas. Classificados no patamar de “estado crítico”, estão os indicadores: “gasto com energia elétrica” e “receita com a venda do excedente”, denotando a irrelevância da exploração agrícola modernizada e orientada para o mercado. Apenas 11 beneficiários utilizaram energia elétrica e sete venderam uma pequena parcela da produção agrícola.

Quadro 12 – Desempenho dos indicadores das barragens subterrâneas do Ceará para a dimensão econômica

Parâmetros do Painel de Sustentabilidade			Indicadores das barragens subterrâneas, segundo a desempenho
Escala de Cores	Grau de Sustentabilidade	Intervalo de Pontos	
	Excelente	889-1000	- - -
	Muito Bom	778-888	- - -
	Bom	667-777	- - -
	Razoável	556-666	- - -
	Médio	445-555	- - -
	Ruim	334-444	Homens/dia na agricultura Quantidade de explorações
	Muito Ruim	223-333	Receita bruta anual
	Atenção Severa	111-222	Custo operacional das explorações Valor dos investimentos em benfeitorias
	Estado Crítico	0-110	Gasto com energia elétrica Receita com a venda do excedente

Fonte: IISD (1999) e autor

No grau de sustentabilidade classificada como “atenção severa”, estão os indicadores: “custo operacional das explorações” e “valor dos investimentos em benfeitorias”, assumindo a cor “vermelha média escura”. O indicador “receita bruta anual” obteve um grau de sustentabilidade “muito ruim”, enquanto os indicadores: “homens/dia utilizados na agricultura” e “quantidade de explorações” foram classificados como “ruim” (cor vermelho claro).

O fraco desempenho desta dimensão é consequência da exclusão de investimentos (benfeitorias e custeio agrícola) e do reduzido apoio técnico (assistência técnica, capacitação e envolvimento dos beneficiários) nos programas governamentais de fomento e financiamento às barragens subterrâneas. Os programas governamentais pressupõem que os investimentos produtivos e o sistema de exploração (subirrigação em vazante) ficam a cargo do beneficiário, que é um agricultor descapitalizado, com baixo nível educacional e dependente de renda de programas sociais.



## d) Dimensão institucional

Esta dimensão reflete o grau de sustentabilidades das políticas públicas, orientadas para as barragens subterrâneas. Dos oito indicadores, apresentados no Quadro 13, quatro estão no grupo de cor verde, um assumiu a cor amarela (médio grau de sustentabilidade) e os outros três, classificados com grau de sustentabilidade “ruim”, assumiram a cor “vermelha clara”.

Quadro 13 – Desempenho dos indicadores das barragens subterrâneas do Ceará para a dimensão institucional

Parâmetros do Painel de Sustentabilidade			Indicadores das barragens subterrâneas, segundo a desempenho
Escala de Cores	Grau de Sustentabilidade	Intervalo de Pontos	
	Excelente	889-1000	Extensão do eixo barrado
	Muito Bom	778-888	Visitas de monitoramento
	Bom	667-777	Barragens concluídas em 2014
	Razoável	556-666	Participação dos beneficiários em eventos relacionados às barragens
	Médio	445-555	Rigor técnico na locação da barragem
	Ruim	334-444	Frequência da asst. técnica Efeito demonstração Nº de horas de capacitação
	Muito Ruim	223-333	- - -
	Atenção Severa	111-222	- - -
	Estado Crítico	0-110	- - -

Fonte: IISD (1999) e autor

A análise de três indicadores merece realce, por representarem um dos eixos definidores do êxito das barragens. O primeiro indicador é “rigor técnico na locação da barragem”, que alcançou desempenho apenas “médio”, quando deveria, pela sua importância, assumir as cores “verde escura” ou “verde média escura”. O segundo indicador é a “capacitação dos beneficiários”, tanto na construção e manejo da barragem como em sua exploração agrícola. Este indicador obteve grau de sustentabilidade “ruim”, fato que comprometeu a obtenção de um melhor desempenho do referido indicador. Por fim, a baixa “frequência da assistência técnica” foi outro fator que contribuiu para que o indicador obtivesse desempenho apenas “ruim”.

### 5.1.3 Desempenho dos indicadores de desenvolvimento sustentável (IDS) das barragens subterrâneas do Ceará por dimensão e global

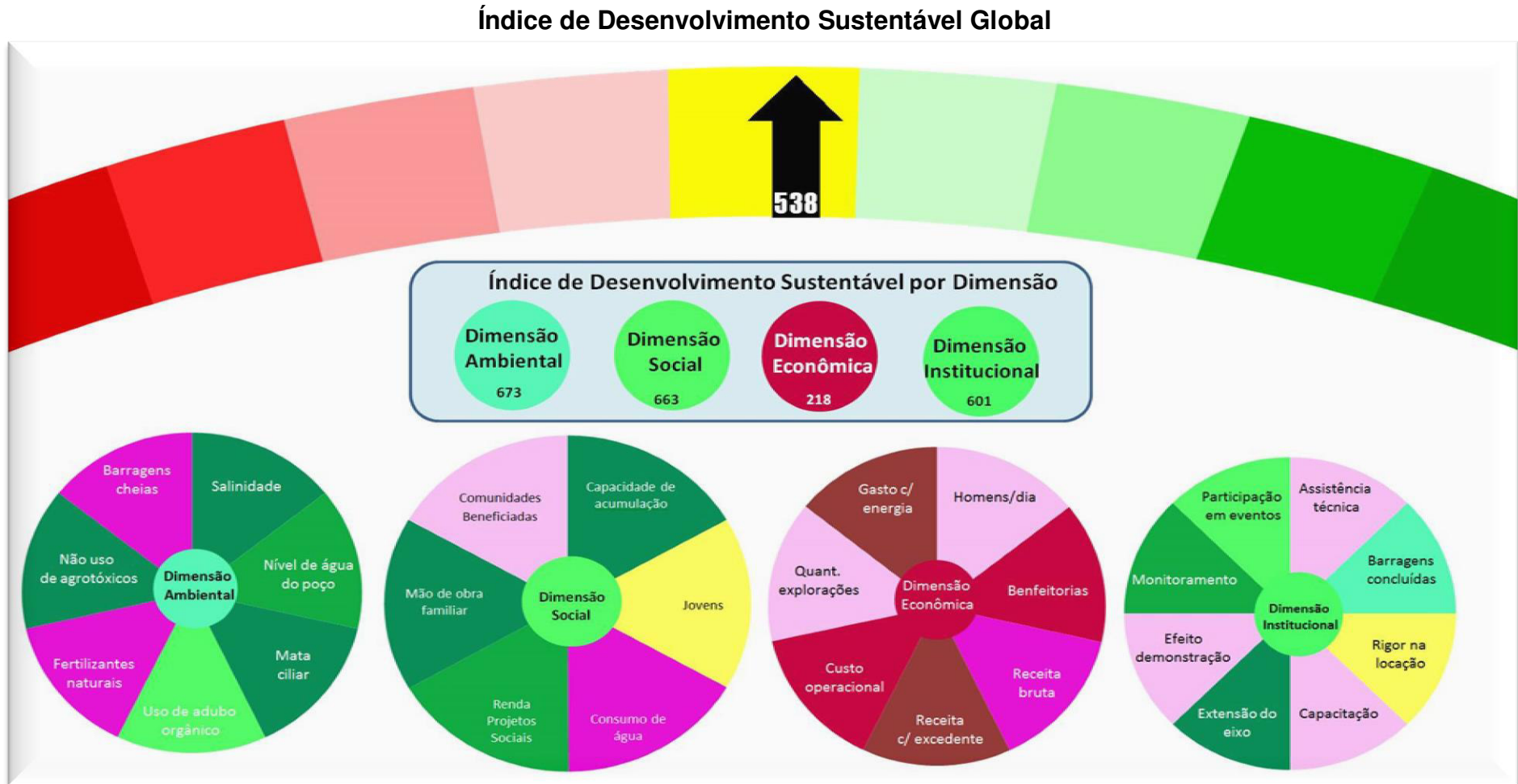
A Figura 13 apresenta os quatro *displays*, com cada uma das cores assumidas pelos 28 indicadores, os índices de desenvolvimento sustentável das quatro dimensões e o índice global (IDS). O Painel de Sustentabilidade é um instrumento de comunicação visual, de fácil e rápida percepção, por meio *displays* com gradação de cores. A análise dos indicadores individuais foi feita nas subseção 5.1.2.

Três dimensões (ambiental, social e institucional) assumiram tons de verde e apenas a dimensão econômica assumiu a cor vermelha média escura. As magnitudes das dimensões verdes ficaram acima de 600 pontos, enquanto a dimensão econômica alcançou apenas 218 pontos, denotando grau de sustentabilidade que requer “atenção severa” para a mesma.

Considerando que as barragens subterrâneas são iniciativas governamentais com planejamento, execução e monitoramento previstos e controláveis, estabeleceu-se, neste trabalho, que o limiar da sustentabilidade (pontuações mínima requerida) será de 700 pontos, desejável para cada um dos indicadores e dimensões e obrigatório para o IDS Global.

O índice de desenvolvimento sustentável global (IDS), objetivo mais importante do método Painel de Sustentabilidade, foi obtido por meio da média aritmética dos valores assumidos pelos 28 indicadores (Tabelas 4 a 7), que redundou no índice de 538 pontos, significando um grau de sustentabilidade “média” e cor amarela. Com relação ao parâmetro de 700 pontos, estabelecido neste trabalho, o IDS Global ficou 23,2% abaixo do limiar de desenvolvimento sustentável, escolhido nesta tese.

Figura 13 – Painel visual com os índices de desenvolvimento sustentável, segundo as variáveis, as dimensões e o índice global



Fonte: elaboração do autor

## 5.2 Resultados obtidos por meio do Método de Análise Hierárquica (AHP)

Neste item, são apresentadas e discutidas as cinco matrizes de pesos atribuídos pelos especialistas e decisores; as magnitudes das prioridades médias locais (PML) em relação aos critérios e ao foco principal; a análise de consistência da aplicação do modelo AHP; e os resultados finais ou a gradação das prioridades das barragens, segundo o tipo de utilização predominante.

As prioridades registradas nos 11 questionários, devidamente metrificadas, foram agrupadas por meio das médias geométricas dos elementos  $a_{ij}$  das matrizes, apresentadas nas Tabelas 8 a 12.

Tabela 8 – Média geométrica da matriz de prioridade das alternativas, à luz do critério: viabilidade econômica

Viabilidade Econômica	Barragem focada na agricultura	Barragem focada na oferta de água	Barragem focada em ganhos ambientais
Barragem focada na agricultura	1	2,59	2,57
Barragem focada na oferta de água	0,38	1	1,57
Barragem focada em ganhos ambientais	0,39	0,64	1

Fonte: elaboração do autor

Tabela 9 - Média geométrica da matriz de prioridade das alternativas, à luz do critério: ganhos sociais

Ganhos Sociais	Barragem focada na agricultura	Barragem focada na oferta de água	Barragem focada em ganhos ambientais
Barragem focada na agricultura	1	0,64	2,74
Barragem focada na oferta de água	1,56	1	4,31
Barragem focada em ganhos ambientais	0,36	0,23	1

Fonte: elaboração do autor

Tabela 10 - Média geométrica da matriz de prioridade das alternativas, à luz do critério: impactos ambientais

Impactos Ambientais	Barragem focada na agricultura	Barragem focada na oferta de água	Barragem focada em ganhos ambientais
Barragem focada na agricultura	1	0,42	1,13
Barragem focada na oferta de água	2,38	1	1,37
Barragem focada em ganhos ambientais	0,88	0,73	1

Fonte: elaboração do autor

Tabela 11 - Média geométrica da matriz de prioridade das alternativas, à luz do critério: efetividade institucional

Efetividade Institucional	Barragem focada na agricultura	Barragem focada na oferta de água	Barragem focada em ganhos ambientais
Barragem focada na agricultura	1	1,14	4,84
Barragem focada na oferta de água	0,87	1	2,78
Barragem focada em ganhos ambientais	0,21	0,36	1

Fonte: elaboração do autor

Tabela 12 - Média geométrica da matriz de prioridade da importância dos critérios, à luz do foco principal

Foco Principal	Viabilidade Econômica	Ganhos Sociais	Impactos Ambientais	Efetividade Institucional
Viabilidade Econômica	1	0,98	1,56	0,77
Ganhos Sociais	1,02	1	3,37	0,73
Impactos Ambientais	0,64	0,29	1	1,01
Efetividade Institucional	1,30	1,37	0,99	1

As Tabelas 13 e 14 apresentam os resultados para as prioridades médias locais (PML), em relação aos critérios: viabilidade econômica, ganhos sociais, impactos ambientais e efetividade institucional e, em relação ao foco principal (FP). O passo a passo metodológico, para obtenção destes resultados, está demonstrado no exemplo hipotético constante do Apêndice C.

As PML compõem as equações que determinam as prioridades médias globais (PMG) e suas magnitudes influenciam no resultado final. Assim, observa-se na Tabela 13 que as PMLs, em relação aos critérios para as alternativas “barragem focada na agricultura” e “barragem focada na oferta de água”, apresentam suas magnitudes em patamares semelhantes e 75% superiores à unidade, enquanto as PMLs para a alternativa “barragem focada em ganhos ambientais”, as métricas estão todos abaixo da unidade, fato que contribuiu para que tal alternativa ficasse na terceira prioridade.

Tabela 13 – Prioridades médias locais em relação aos critérios

Alternativas	Prioridade média local em relação aos critérios			
	Viabilidade econômica	Ganhos sociais	Impactos ambientais	Efetividade institucional
Barragem focada na agricultura	1,69	1,02	0,74	1,49
Barragem focada na oferta de água	0,75	1,60	1,04	1,14
Barragem focada em ganhos ambientais	0,56	0,36	0,76	0,35

Fonte: elaboração do autor

As PMLs, em relação ao foco principal, apresentam valores coerentes com as magnitudes das PMGs. Aqui, a maior PML foi 1,22 para o critério “ganhos sociais” e a menor foi 0,67 para o critério “impactos ambientais”. O Quadro 16 mostra que a primeira prioridade é para “barragens subterrâneas focadas na oferta de água” e a terceira é para “barragens subterrâneas focadas em ganhos ambientais”.

Tabela 14 – Prioridades médias locais em relação ao foco principal

Critérios	Prioridade média local em relação ao foco principal
Viabilidade econômica	0,96
Ganhos sociais	1,22
Impactos ambientais	0,67
Efetividade institucional	1,13

Fonte: elaboração do autor

O resultado final da análise, apresentado no Quadro 14, mostrou que a “barragem subterrânea focada na oferta de água” apresentou a maior prioridade sob o ponto de vista dos especialistas, com a métrica de 8,49 pontos, sob a visão dos especialistas e decisores. Esse resultado sinaliza que essa forma de utilização da barragem é a que melhor gera benefícios, sob o ponto de vista da sustentabilidade. Tal desempenho não é surpreendente, visto tratar-se de uma tecnologia social vocacionada ao semiárido. A importância deste resultado é a mensuração, ou ordem da prioridade, em relação às demais alternativas, como elemento-chave para no processo de tomada de decisão nas fases de concepção e de execução de políticas públicas de financiamento à implantação de barragens subterrâneas.

A alternativa denominada de “barragem subterrânea focada na produção agrícola” ficou em segundo lugar, com métrica igual a 7,48 pontos (Quadro 14), abaixo um ponto da “barragem focada na oferta de água”. Estes resultados, muitos próximos, sinalizam que as barragens devem ser exploradas de forma simultânea, tanto para oferta de água como para exploração agrícola. Estes resultados reforçam o argumento de que a barragem subterrânea não deve ser apenas uma obra de engenharia agrícola, mas um empreendimento integrado da propriedade, com otimização da produção agrícola e da oferta de água, além dos ganhos ambientais.

Quadro 14 - Resultado final (prioridade global) do Método AHP aplicado às barragens subterrâneas

Alternativas de barragem	Pontuação	Prioridade
Barragem subterrânea focada na oferta de água	8,49	1 <sup>a</sup> .
Barragem subterrânea focada na produção agrícola	7,48	2 <sup>a</sup> .
Barragem subterrânea focada em ganhos ambientais	2,81	3 <sup>a</sup> .

Fonte: elaboração do autor

A prioridade obtida pela alternativa “barragem subterrânea focada em ganhos ambientais” foi a de menor valor (2,81 pontos). Este resultado, apresentado no Quadro 14, não é, na prática, um desempenho que possa influenciar, de forma negativa, a inserção da dimensão ambiental das barragens subterrâneas, nas políticas públicas, na medida em que tal intervenção assume, em maior grau, o

papel de ativo ambiental da propriedade, do que mesmo uma benfeitoria econômica. Isto é decorrente das barragens gerarem ganhos ambientais, independentemente de seu manejo, na forma de revitalização da mata ciliar, maior umidade e fertilidade do solo da bacia hidráulica, além de aumento em seu perfil. Ou seja, uma barragem construída adequadamente do ponto de vista socioambiental gera ganhos ambientais, mesmo ficando inexplorada.

As razões de consistência das matrizes de prioridade, mostradas na coluna 5 da Tabela 15, apresentam-se dentro dos limites estabelecidos pelo método AHP que é  $\leq 0,10$ . Os índices obtidos variaram no intervalo entre zero a 0,09, confirmando que a consistência da análise é satisfatória.

Tabela 15 – Razão de consistência das matrizes de prioridades, segundos os critérios e o foco principal

Matriz	$\lambda_{\max}$	$IC=(\lambda_{\max}-N)/N-1$	IR Índice Randômico	RC = IC/IR Razão de consistência
Viabilidade econômica	3,0150	0,0075	0,5200	0,0144
Ganhos sociais	3,0000	0,0000	0,5200	0,0000
Impactos ambientais	3,1100	0,5000	0,5200	0,0961
Efetividade institucional	3,0160	0,0300	0,5200	0,0577
Foco principal	4,2000	0,0660	0,8900	0,0741

Fonte: elaboração do autor

Ao longo dos estudos, apenas a “matriz de prioridade das alternativas, à luz do critério efetividade institucional”, apresentou, em uma primeira análise, razão de consistência maior que 0,10. Por conta deste fato, os 11 questionários foram revistos, em relação à matriz acima referida, para encontrar a incoerência detectada. Assim procedendo, foram identificados três questionários com registro de prioridades incoerentes. Esses questionários foram reavaliados junto aos respectivos entrevistados. Após os ajustes nos três questionários e realizados os cálculos, a matriz de prioridades do critério “impactos ambientais” apresentou razão de consistência igual a 0,0961 (Tabela 15).



### 5.3 Análises conjunta dos indicadores do Painel de Sustentabilidade com os resultados do Método de Análise Hierárquica

O referencial, desta análise, é a perspectiva temporal dos dois métodos utilizados. O Painel de Sustentabilidade, como uma análise *ex-post* de indicadores obtidos, com base em questionários aplicados junto aos beneficiários de barragens subterrâneas, e o Método de Análise Hierárquica, em que os resultados são indicadores *ex-ante*, gerados a partir de questionários aplicados junto a especialistas e agentes decisores, ligados às tecnologias de convivência com o semiárido, em especial, barragens subterrâneas.

Comparando-se os resultados obtidos pelos dois métodos, referenciados pelos pressupostos do desenvolvimento sustentável, constata-se uma dissintonia que requer uma análise reflexiva. Os indicadores do Painel (situação de fato) mostram um bom grau de sustentabilidade para as dimensões ambiental, social e institucional e um baixíssimo desempenho para a dimensão econômica. Os resultados (expectativas), gerados pelo AHP, sinalizam uma alta prioridade para investimentos em barragens focadas na oferta de água (dimensão social), que é compatível com o indicador do Painel.

A dissonância é verificada ao comparar-se o desempenho da dimensão econômica, obtida pelo Painel, em que apresenta grave insustentabilidade (necessidade de atenção severa), enquanto o resultado do AHP é muito satisfatório para a barragem focada na produção agrícola (dimensão econômica), denotando que os especialistas e decisores projetam uma situação que não é verificada no mundo real.

Outra discrepância é o desempenho da dimensão ambiental, mensurada pelos dois métodos. O painel indica uma boa sustentabilidade para a dimensão ambiental e o AHP captou uma métrica de 67% e 62% inferiores, respectivamente, para as dimensões social (barragem focada na oferta e água) e econômica (barragem focada na produção agrícola).

Em face do exposto, fica a dúvida quanto à razão da dissintonia entre os indicadores *ex-post* e *ex-ante*. São as políticas públicas, que não refletem as peculiaridades e necessidades dos beneficiários, ou é a ineficiência na implantação das barragens (política pública), associada à falta de envolvimento do agricultor beneficiário?

Assim, os resultados deste trabalho possibilitam reflexões, tanto do agente público (especialista, decisor, extensionista) como do beneficiário final, quanto aos caminhos a serem seguidos, de maneira que as barragens subterrâneas sejam uma das soluções eficazes e sustentáveis para a convivência com o semiárido, ou seja, revelando-se ambientalmente correta, economicamente viável e socialmente justa.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este estudo identificou 48 indicadores que foram utilizados para avaliar a sustentabilidade no semiárido cearense. Esses indicadores também podem ser empregados para a definição de padrões de construção e operação de barragem subterrânea, de modo a desempenharem um papel de empreendimento sustentável, sob os aspectos ambiental, social e econômico.

Utilizando-se a ACP, 28 indicadores de sustentabilidade foram selecionados para compor o Painel de Sustentabilidade. Os resultados mostraram elevada amplitude entre suas métricas, denotando a falta de equilíbrio e de eficácia dos processos de construção e operação das barragens subterrâneas do Ceará. Constatou-se, ainda, que apenas dez indicadores ficaram acima do patamar de 700 pontos (limiar da sustentabilidade). Os valores mais baixos ocorreram com os sete indicadores da dimensão econômica, que não atingiram o limiar da sustentabilidade ( $\geq 700$  pontos).

O índice de sustentabilidade, por dimensão, mostrou que a dimensão econômica ficou abaixo do limiar de sustentabilidade, enquanto as dimensões ambiental (673 pontos), social (663 pontos) e institucional (601 pontos), ficaram em uma faixa satisfatória de sustentabilidade. A dimensão econômica atingiu apenas 218 pontos, para um máximo de 1.000, situando-se no grau de sustentabilidade definida como necessidade de “atenção severa”.

O índice global de desenvolvimento sustentável (IDS) das barragens subterrâneas do Ceará atingiu a métrica de 538 pontos, considerado um grau médio de sustentabilidade e abaixo do limiar da sustentabilidade de 700 pontos.

A pesquisa de campo (*ex-post*), realizada junto às proprietários das barragens, ratificou que as três alternativas de barragens subterrâneas, quanto à forma predominante de utilização, refletem bem a realidade e/ou necessidade das comunidades onde se encontram implantadas. A maior prioridade (*ex-post*) para investimento, a ser dada pelo decisor público, é para a “barragem subterrânea focada na oferta de água”, que atingiu 8,49 pontos, seguida de perto pela “barragem subterrânea focada na produção agrícola”, com 7,48 pontos. A menor métrica ficou para a “barragem focada em ganhos ambientais”, com apenas 2,81 pontos, para efeito de priorização.

O Método do Painel de Sustentabilidade (*dashboard of sustainability*) mostrou-se adequado ao estudo, devido à acuidade na seleção e nas métricas dos indicadores, além dos vários níveis de informações fornecidas (individual, por dimensão e global). Duas inovações, ao Método, foram adotadas neste estudo: uma foi a adoção da análise de componentes principais (ACP), que deu maior robustez aos indicadores selecionados, ao excluir da análise aquelas variáveis originais, com elevada autocorrelação. A segunda inovação refere-se ao fato de que este Método vem sendo utilizado em eventos globais (país, estado, município) e, nesta tese, é adotado para uma tecnologia social de abrangência local ou de um empreendimento integrado.

O Método de Análise Hierárquica (AHP), muito utilizado em tomada de decisão empresarial, foi escolhido, neste estudo, e se mostrou satisfatório no contexto de uma tecnologia social, financiada pelo poder público. O AHP mostrou-se adequado porque gerou subsídios de ordem quantitativa, a partir de inúmeras variáveis qualitativas de difícil mensuração. O que foi adotado neste estudo pode ser replicado para outras tecnologias de convivência com o semiárido, objetivando maior efetividade das políticas públicas, orientadas para a problemática regional de convivência com o semiárido.

As dificuldades mais marcantes da pesquisa de campo, para aplicação do método Painel de Sustentabilidade junto aos agricultores, foram a falta de um cadastro das barragens subterrâneas implantadas com recursos públicos, bem como a inexistência de informações sobre o monitoramento do desempenho anual dessas intervenções no meio rural.

Outro fator, com necessidade de uma qualificação mais detalhada, foi que, no ano da pesquisa (2014), a quadra invernososa ficou abaixo da média no Estado do Ceará, afetando parcialmente o desempenho de algumas das barragens subterrâneas pesquisadas.

Com relação à aplicação do método AHP, foi necessário um esforço maior para preparar os respondentes, visto a falta de experiência dos mesmos, em responder questionários que exigiam muita reflexão e concatenação das ideias nos julgamentos par a par, entre os critérios relacionados às barragens subterrâneas. Ainda, com relação ao método AHP, não foi possível mobilizar especialistas e/ou decisores com formação em sociologia ou assistência social, que tivessem experiência em barragens subterrâneas.

Essas dificuldades e contingências, naturais em pesquisa que envolve o meio rural, foram superadas, de forma que não prejudicaram os resultados finais do trabalho.

As recomendações, mais significativas, são apresentadas a seguir:

- a) Os indicadores, identificados e metrificados, podem ser utilizados para auxiliar na readequação das atuais barragens, com baixo grau de sustentabilidade, e subsidiar as novas ações (políticas públicas), de forma que as barragens subterrâneas sejam sustentáveis.
- b) As métricas das prioridades, por tipo de barragem subterrânea, devem ser utilizadas como subsídio, para que os tomadores de decisão otimizem os recursos públicos no financiamento de barragens subterrâneas, vindo a gerar maiores benefícios às comunidades afetadas.
- c) Necessidade de estudar a dissintonia existente entre a realidade das barragens subterrâneas do Ceará (análise *ex-post*) e as expectativas dos especialistas e decisores (análise *ex-ante*), identificadas no estudo, com relação às dimensões econômica e ambiental.
- d) Repetição deste estudo, no segmento dos indicadores obtidos, por meio do Método Painel de Sustentabilidade, em um horizonte de três a cinco anos, para conhecer a evolução do grau de sustentabilidade das barragens subterrâneas do Ceará.

## REFERÊNCIAS

- ADECE. Agência de Desenvolvimento do Ceará. **Agronegócio cearense**. Fortaleza-CE: ADECE, 2013. 30 p.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O Semiárido cearense e suas águas. In: ANDRADE *et al.* (orgs.). **Semiárido e o manejo dos recursos naturais**. Fortaleza-CE: UFC, 2010. Cap. 3, p. 56-80.
- ANGELFIRE. **Introdução à Mesopotâmia**: das cavernas para a agricultura irrigada. Disponível em: <http://www.angelfire.com/me/babiloniabrasil/prehisto.html>. Acessado em: 12.06.2014.
- ANTONINO, A. C. D.; AUDRY, P. **Utilização de água no cultivo de vazante no semiárido do Nordeste do Brasil**. Recife: UFPE/IRD, 2001 100p.
- ARAÚJO, F. P.; PORTO, E. R.; SILVA, M. S. L. **Agricultura de vazante**: uma opção de cultivo para o período seco. Petrolina-PE: Embrapa Semiárido, 2004. Instrução Técnica 56.
- ARAÚJO, José Torquato. Projetos de práticas agrícolas para convivência com o semiárido: barragens subterrâneas. In: 29<sup>o</sup> Frutal 2012, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza: Instituto Frutal, 2012.
- BANCO MUNDIAL. **Water Resources Management**. A World Bank Policy. Paper, Washington, 1993.
- BECKER, Michael; et al. (coords.). **A Pegada Ecológica de São Paulo**: Estado e Capital e a família de pegadas. WWF-Brasil, Brasília, 2012. 114 p.
- BEM, Fernando. Utilização do método AHP em decisões de investimento ambiental. In: XXVI ENEGEP, Fortaleza-CE, **Anais...** Fortaleza: ABEPRO, 2006.
- BNB. **Sistema de elaboração e análise de projetos (SEAP)**: orçamentos. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2009.
- BARROS, L. S. S.; BAGNO, R. B. A difusão de tecnologias sociais: análise de cinco iniciativas empenhadas na reaplicação de soluções tecnológicas e sociais. **Sinapse Múltipla**, Betim-MG, v. 3, n.1, p. 44-57, jul. 2014.
- BARAÇAS, F. J. L.; MACHADO, J. P. A. **A análise multicritério na tomada e decisão**: o método analítico hierárquico de T. L. Saaty. Coimbra-Portugal: Instituto Politécnico de Coimbra, 2006.
- BELDERRAIN, M. C. N. e SILVA, R. M. **Considerações sobre métodos de decisão multicriterial**. São José dos Campos-SP: ITA/CNPq, 2005. (paper)
- BENETTI, Luciana Borba. **Avaliação do Índice de Desenvolvimento Sustentável do Município de Lages (SC) através do Método do Painel de Sustentabilidade**.

2006. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

BOAS, Cíntia de Lima Vilas. Modelo multicriterial para análise de alternativas de uso múltiplo de reservatórios: estudo de caso do Reservatório do Ribeirão João Leite/Go. *In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais...* São Paulo-SP. 2007.

BOLFARINE, Heleno; BUSSAB, Wilton. O. **Elementos de amostragem**. São Paulo: Blucher, 2005.

BRASIL. **Projeto Áridas**. Brasília-DF: Ministério do Planejamento, 1995. 241 p.

BRITO de, L. T. L.; ANJOS dos, J. B. Barragem Subterrânea: captação e armazenamento de água no meio rural. *In: 1º Simpósio sobre Captação de Água de Chuva no Semiárido Brasileiro. Anais...* Petrolina-PE, 1987.

BUTTMER, A. Close to home: making sustainability work at the local level. **Environment**, v.40, n. 3, 1998, p. 12-14.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento**: a Agenda 21. Rio de Janeiro: Coordenação de Publicações, 1995. 472 p.

CAMPOS, C. A.; RIBEIRO, F. L.; Souza, C. B. Indicador de sustentabilidade dashboard: análise da sustentabilidade da produção familiar de frutas no município de Itapuranga-GO. *In: XLVI Congresso da SOBER, Anais...* Goiânia-GO, 2008.

CARNEIRO, A. P. et al. Uso da água nas terras secas da Iberoamérica: indicadores de eficiência hidroambiental e socioeconômica. **Ecosistemas**, v. 17, n. 1, p. 60-71, Jan. 2008,. Asociación Española de Ecología Terrestre, Madri-Espanha.

CARVALHO, J. O.; EGLER, C. A. G. **Alternativas de desenvolvimento para o Nordeste semiárido**. Fortaleza: BNB, 2003. 204 p.

CEARÁ, Secretaria dos Recursos Hídricos. **Implantação experimental do sistema de monitoramento socioeconômico nas áreas de atuação do Projeto PRODHAM**: relatório final. Fortaleza: 2008.

CEARÁ. **Os 7 Cearás**: síntese do processo de planejamento participativo para elaboração do Plano de Governo 2015-2018 da gestão Camilo Santana. Fortaleza: Comitê de Campanha, 2014. 275 p.

CEARÁ, Secretaria dos Recursos Hídricos. **Manual técnico-operacional do Projeto de Desenvolvimento Hidroambiental do Ceará (PRODHAM)**. Fortaleza: SRH-CE, 2010.

CGSDI. **Consultative Group on Sustainable Development Indices**. International Institute for Sustainable Development. Obtido em: [www.iisd.org](http://www.iisd.org). Acessado em:

12.05.2015.

CIRILO, J. A . *et al.* Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semiárido brasileiro: avaliação de barragens subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre-RS, v. 8, n. 4, p. 5-24, out./dez. 2003.

CIRILO, José Almir; COSTA, Waldir Duarte. Barragem Subterrânea: experiência em Pernambuco (Subsurface Inpoudments, The Experience of the Pernambuco State). *In: 9th International Rainwater Catchment Systems Conference. Anais...* Brazil, 1999 (in Portuguese).

CLARK, Elwood. **Avaliação econômica e financeira de projetos de irrigação**. Brasília: Bureau of Reclamation, 2002. 136 p.

CLEMENTE, F.; FERREIRA, D. M.; LÍRIO. V. S. Avaliação do índice de desenvolvimento sustentável (IDS) do Estado do Ceará. **Revista de Desenvolvimento Econômico**, Salvador-Ba, v. 13, n. 24, p. 44-58, dez. 2011.

CONAB. **Custo de produção**: agricultura familiar. Ceará, 2013. Obtido em <[www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1560&ordem=titulo](http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1560&ordem=titulo)>. Acessado em: 18.06.15.

CONTADOR, C. R. **Avaliação social de projetos**. São Paulo: Atlas, 1998. 316 p.

COSTA, A. B. (Org.). **Tecnologia social e políticas públicas**. São Paulo-SP: Fundação Banco do Brasil, 2013. 284 p.

COSTA, C. T.; PUERARI, E. M.; CASTRO, M. A. H. **Barragem subterrânea: a experiência do Estado do Ceará**. *In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Anais....* São Paulo: 2002.

COSTA, Helder Gomes. Introdução ao método de análise hierárquica: análise multicritério no auxílio à decisão. *In: XXXVI SBPO, Anais...* São João Del Rei – MG, 2004.

COSTA, J. F. da Serra; DUARTE, K. S. Escolha da ferramenta adequada para o desenvolvimento de painéis de indicadores em uma empresa de seguros: uma abordagem multicritério. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, Rio de Janeiro-RJ, v. 5, n.1, p. 33-49, jan.-abr. de 2010.

COSTA, Margarida Regueiro. **Avaliação do potencial de aproveitamento de reservatórios constituídos por barragens subterrâneas no semiárido brasileiro**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2002. 198 p.

COSTA, M. R.; LIMA, E. B.; DAMASCENO, S. B. Salinidade das águas em barragens subterrâneas no semiárido do Nordeste do Brasil. *In: XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica. Anais...* Gramado-RS, 2011. P. 1113-1116.

COSTA, Socorro Liduína Carvalho. **Barragens sucessivas de contenção de sedimentos e seus impactos hidroambientais na microbacia do rio Cangati**,



**Camindé-Ce.** Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará, 2010. 122 p.  
COSTA, Waldir Duarte. **Manual de barragens subterrâneas.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1998. 50 p.

COSTA, Waldir Duarte. **Barragem subterrânea.** Recife: UNIECO, 2003. Palestra.  
Disponível em: <<http://ibps.com.br/tag/noticias/page/265/>>. Acesso: maio de 2013.

DAGNINO, R. P. A. A relação pesquisa-produção: em busca de um enfoque alternativo. *In*: SANTOS, L. W. *et al.* (Orgs.). **Ciência, tecnologia e sociedade: o desafio da integração.** Londrina: IAPAR, 2002.

DAGNINO, R. P. A. *et al.* Sobre o marco analítico-conceitual da tecnologia social. *In*: **Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento.** Rio de Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004.

DAGNINO, R. P. **Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade.** Campinas-SP: UNICAMP, 2009.

DA SILVA, R. M. A. **Entre o combate à seca e a convivência com o Semiárido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento.** 2006. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, 2006, 298 p.

DA SILVA, R. M. A. Políticas públicas e sustentabilidade do desenvolvimento do Semiárido brasileiro. *In*: Angelotti et al. (Editores) **Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro.** Petrolina-PE: Embrapa Semiárido; Campinas-SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. Cap. 12, p. 197-219.

DI PIETRO, Maria Sylvia Zanella. **Direito Administrativo.** São Paulo: Atlas. 18 ed. 2008.

EMATERCE. **Relatório de monitoramento da implantação de barragens subterrâneas em municípios do Estado do Ceará no período de 2011 a 2014.** Fortaleza, CE: Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do estado do Ceará, 2015.

EMBRAPA. **Tecnologias para a agropecuária do semiárido nordestino.** Embrapa Semiárido, 2001. 72 p.

EMBRAPA. **Relatório completo de avaliação e impacto da barragem subterrânea.** Embrapa Solos: Rio de Janeiro, 2014. 34 p.

FBB - FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Banco de Tecnologias Sociais.** 2013. Obtido em: <<http://www.fbb.org.br/tecnologiasocial/banco-de-tecnologias-sociais/pesquisar-tecnologias/barragem-subterranea-com-lonas-plasticas.htm>>. Acesso: 10/02/2014.

FERREIRA, G. B. et al. Sustentabilidade de agroecossistemas com barragens subterrâneas no semiárido brasileiro: a percepção dos agricultores na Paraíba.

**Revista Brasileira de Agroecologia**, Pelotas-RS, v. 6, n. 1, p. 19-36, 2011.

FERREIRA, J. M. L.; VIANA, J. H. M.; COSTA, A. M.; SOUSA, D. V.; FONTES, A. A. Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas. **Informe Agropecuário**, v. 33, n. 271, p. 12-25, nov./dez. 2012.

FIGUEIREDO JUNIOR, m. O.; BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Avaliação de intervenções em áreas urbanas à luz dos impactos nos sistemas de infra-estrutura sanitária. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande-MS, **Anais...** Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

FRANCA, Dalvino Troccoli. **Sistema de abastecimento da população rural difusa no semiárido brasileiro**. In: XI IRCSA – Conference Proceedings, Brasília: Agência Nacional de Água, 2003. 53 p.

FRANÇA, Francisco Mavignier Cavalcante *et al.* **Avaliação socioeconômica dos resultados e impactos do Projeto de Desenvolvimento Hidroambiental do Estado do Ceará (PRODHAM) e sugestões de políticas**. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010. 174 p.

FRANÇA, F. M. C.; HOLANDA JR, E. V.; SOUSA NETO, J. M. Análise da viabilidade financeira e econômica do modelo de exploração de ovinos e caprinos no Ceará por meio do sistema agrossilvipastoril. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v.42, n. 2, abr./jun., p. 287-307, 2011.

FRANÇA, Francisco Mavignier. Cavalcante (Coord.). **Modelo geral para otimização e promoção do agronegócio da irrigação no Nordeste**. Fortaleza-CE: BNB, 2001. 320 p.

FRANÇA, F. M. C.; PINHEIRO, J. C. V.; CARVALHO, R. M. Avaliação social de barragens subterrâneas no semiárido do Estado do Ceará, por meio da análise custo-benefício da produção agrícola. In: 50<sup>o</sup> Congressos da Sober. **Anais...** Vitória-ES, 2012.

FOSTER, S.; TUINHOF, A. **Brazil, Kenya**: subsurface dams to augment groundwater storage in basement terrain for human subsistence. Washington-DC/USA: The World Bank, 2004. Case Profile Collection Number 5.

FURTADO, C. **Pequena introdução ao desenvolvimento**: enfoque interdisciplinar. São Paulo: Editora Nacional, 1980.

FURTADO, C. Uma política de desenvolvimento para o Nordeste. **Novos Estudos Cebrap**. São Paulo, v. 1, 1, dez. P. 12-19. 1981.

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. National Footprint Accounts, 2010. Obtido em: <[www.footprintnetwork.org](http://www.footprintnetwork.org)>. Acesso: maio de 2015.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisão em cenários complexos**: introdução aos métodos discretos de apoio à decisão. São

Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. 107 p.

GOMES, Luiz Flávio Autran Monteiro. Tomadas de decisão são facilitadas com modelos matemáticos. **Revista Com Ciência/SBPC**, 2013. Entrevista. Obtida em: <comciencia.br/entrevistas/modelagem/Autran.htm>. Acesso em: 25/08/2014.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de Decisão em Cenários Complexos**: Introdução aos Métodos Discretos do Apoio Multicritério à Decisão, Rio de Janeiro, Thompson Learning, 2004.

GOMES, Gustavo Maia. **Velhas secas em novos sertões**: continuidade e mudanças na economia do semiárido e dos cerrados nordestinos. Brasília-DF: IPEA, 2001. 294 p.

GUTBERLET, J.; GUIMARÃES C.V.P. **Desenvolvimento sustentável e Agenda 21**: guia para sociedade civil, municípios e empresas. São Paulo: Fundação Konrad Adenauer, 2002.

HARDI, P.; ZDAN, T. **The dashboard of sustainability**. Winnipeg (Canadá): International Institute for Sustainable Development (IISD), 2000.

HANSON, G.; NILSSON, A. Ground-water dams for rural-water supplies in developing countries. **Groundwater**, Bruxelas-Bélgica, v. 24, n. 4, jul-ago, 1986.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**: Brasil 2007. Rio de Janeiro-RJ: IBGE/CDDI, 2008.

IBGE. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 261p.

IISD – International Institut for Sustainable Development. **The dashboard of sustaibability**. Canadá: IISD, 1999. Obtido em: <iisd.org/cgsdi/dashboard.asp>. Acessado em: 25/04/2015.

IPLANCE. **Atlas do Ceará**. Fortaleza: Iplance, 1997.

IRIAS, L. J. M.; GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P.; ROSA, M. F.; RODRIGUES, G. S. Avaliação de impacto ambiental de inovação tecnológica agropecuária: aplicação do sistema AMBITEC. **Agri. São Paulo**, São Paulo, v. 51, n. 1, p. 23-39, jan./jun. 2004.

ISHIDA, S.; TSUCHIHARA, T.; YOSHIMOTO, S.; IMAIZUMI, M. Sustaonable use of groundwater with underground dams. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tóquio, n. 45, v. 1, p. 51-61, 2011. <http://www.jircas.affrc.go.jp>

ITS. INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL. **Caderno de Debate Tecnologia Social no Brasil**. São Paulo: ITS, 2004.

KRAMA, M. R. **Análise dos indicadores de desenvolvimento sustentável no Brasil, usando a ferramenta painel de sustentabilidade**. 2009. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2009.

KÜSTER, A.; MARTÍ, J. F.; MELCHERS, I. **Tecnologias Apropriadas para Terras Secas**: manejo sustentável de recursos naturais em regiões semiáridas no Nordeste do Brasil. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, GTZ, 2006.

LASSANCE JR, A. E.; MELLO, C. J.; BARBOSA, E. J. S. **Tecnologia social**: uma estratégia para o desenvolvimento. Rio e Janeiro: Fundação Banco do Brasil, 2004.

LIMA, A. O. *et al.* Utilização do GPR para locação de barragens subterrâneas no semiárido brasileiro. *In*: 7<sup>o</sup> Seminário Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuvas. **Anais...** Caruaru-PE, 2009.

LUNARO, Sena Alves . **Uma aplicação de análise de decisão com o método AHP – Processo de Hierarquia Analítico**: um estudo sobre adoção de sistema eletrônico de cobrança no transporte urbano. Natal-RN, 2007. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio grande do Norte. Programa de Engenharia da Produção.

MADEIRA, Soraia Araújo. **Análise da modernização agrícola cearense no período de 1996 e 2006**. 2012. Dissertação (Mestrado em Economia Rural). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MADRID, K. C. **A teoria de Perron-Frobenius e aplicações**. 2009. Dissertação (Mestrado em Matemática). Universidade Federal Fluminense. Curso de Mestrado em Matemática.

MAROCO, João. **Análise estatística com a utilização do SPSS**. 2. ed. Lisboa: Gráfica Rolo e Filhos, 2003. 508 p.

MATZENAUER, H. B. **Uma metodologia multicritério construtivista de avaliação de alternativas para o planejamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas**. 2003. Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação e Saneamento Ambiental da UFRS, 2003.

MELO, R. F. *et al.* Monitoramento da salinidade do solo em barragens subterrâneas no semiárido brasileiro. *In*: Simpósio Brasileiro de Salinidade. **Anais...** Fortaleza-CE, 2010.

MOITA NETO, J. M. Estatística multivariada: uma visão didático-metodológica. **Crítica na Rede**, Ouro Preto-MG, mai. 2004. Obtido em: <[criticanarede.com/cien\\_estatistica.html](http://criticanarede.com/cien_estatistica.html)>. Acessos: 10/10/2015.

MOTTA, R. S. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Rio de Janeiro-RJ: IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1997.

MOURÃO, J. O. F. Avaliação “social” de projetos: uma metodologia para a dependência. *In*: MONTEIRO FILHO, D. C.; MODENESI, R.L. (Orgs.). **BNDES, Um banco de ideias**: 50 anos refletindo o Brasil. Rio de Janeiro: BNDES, 2002. P. 91 - 112.

NISSEN-PETERSEN, E. **Subsurface dams built of soil**. Nairobi-Quênia: ASAL Consultants Ltd., 2011. Disponível em: <http://www.sswm.info>. Acessado em: novembro de 2014.

OLIVEIRA, J. B. **Manual técnico operativo do PRODHAM**. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará, 2001.

OLIVEIRA, J. B.; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. M. C. Barragens sucessivas de contenção de sedimentos em microbacias hidrográficas do semiárido do Ceará. *In*: 2<sup>nd</sup> International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-arid Regions. **Anais...** Fortaleza, 2010a.

OLIVEIRA, J. Bosco; ALVES, J. J.; FRANÇA, F. Mavignier. C. **Barragem subterrânea**. Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará, 2010b.

OLIVEIRA, João Bosco. **Áreas municipais do Estado do Ceará e suas hidrografias com potencialidades para barragens subterrâneas**. Fortaleza: Secretaria do Desenvolvimento Agrário do Ceará, 2012.

OLIVEIRA, J. Bosco. **Práticas inovadoras de controle edáfico e hidroambiental para o semiárido do Ceará**. Fortaleza: Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará, 2010.

ONU. **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1991.

ONU. **Global Trends and Status of Indicators of Sustainable Development**. New York: 2006. Background Paper no.2

WCED, World Commission on Environment and Development. **Our Common Future**. London: Oxford University Press, 1987.

WACKERNAGEL, M; REES, W. **Our ecological footprint**. Gabriola Inland, BC and Stony Creek, CT: New Society Publishes, 1996.

PAPPA, Márcia Fernanda. **Aplicação da metodologia AHP na hierarquização dos critérios de qualidade do trânsito das cidades**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2012. 100 p.

PEREIRA JUNIOR, J. S. **Nova delimitação do semiárido brasileiro**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2007.

PEREIRA, O. J.; ANDRADE, E. M. Alternativas de convivência com o semiárido. *In*: ANDRADE *et al.* (orgs.). **Semiárido e o manejo dos recursos naturais**. Fortaleza-CE: 2010. Cap. 1, p. 1-22.

PNAD. **Síntese de indicadores 2009**. Rio de Janeiro-RJ: IBGE, 2010. 288p.

PNUMA. **Economia verde**: caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, 2011. Disponível em: <unep.org/greeneconomy>.

PORTO, E. R. Sistemas produtivos dependentes de chuva: desempenho e perspectivas para a sustentabilidade. *In*: Angelotti et al. (Editores) **Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido; Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2009. Cap. 9, p. 165-172.

PORTO, E. R.; SILVA, A. S.; ANJOS, J. B.; BRITO, L. T. L.; LOPES, P. R. C. **Captação e aproveitamento de água de chuva na produção agrícola dos pequenos produtores do semiárido brasileiro**: o que tem sido feito e como ampliar sua aplicação no campo. *In*: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTACAO DE AGUA DE CHUVA, 9., 1999, Petrolina, PE. Anais. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido/Singapura/IRCSA, 1999. CD-ROM.

PRESCOTT-ALLEN, R. **The Barometer of Sustainability**. IUCN, 2001. Disponível em: <<http://www.iucn.org/themes/eval/english/barom.htm>>. Acesso em: 30/03/2015.

SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with analytic hierarchy process**. Pittsburgh-PA/USA: RWS Publications, 2006.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991. 367 p.

SAATY, T. L. **Theory and applications of the analytic network process**. University of Pittsburgh-USA, 2009. 352p.

SAATY, T. L.; Vargas, L. G. **Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchic process**. Kluwer Academic Publishers, 2000.

SACHS, Ignacy. **Desenvolvimento**: incluyente, sustentável e sustentado. Rio de Janeiro: Garamond, 2008. 151 p.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009. 96 p.

SANCHEZ, G. F.; MATOS, M. M. Marcos metodológicos para sistematização de indicadores de sustentabilidade da agricultura. **[Syn]Thesis**, Pará de Minas-MG, v. 5, n. 2, p. 255-267, 2012.

SANTANA, A.C. Metodologia para mapeamento de arranjos produtivos locais na Amazônia. *In*: Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural, 2004, Cuiabá - MT. Dinâmicas Setoriais e Desenvolvimento Regional. Brasília: **Anais...** SOBER, 2004. v. 42. p. 1-19.

SANTOS, R. B. **Avaliação de intervenções hidráulicas na bacia do rio Gramame-PB com o uso das técnicas de análise multiobjetiva e multicriterial**. 2009. Tese. (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande-PB, Campina Grande, 2009.

SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão: abordagem AHP e Macbeth**. 1995. Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995. 230 p.

SCHULTZ, Theodore W. **Transforming traditional agriculture**. New Haven-USA: Yale University Press, 1964.

SEMARH. **Programa de Desenvolvimento Sustentável e Convivência com o Semiárido Potiguar**: Projeto Microbacia do rio Cobra. Natal: Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos/Banco Mundial, 2012.

SILVA, Diva Martins Rosas. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, Ma. S. L. *et al.* **Barragem subterrânea**: uma opção de sustentabilidade para a agricultura familiar do semiárido do Brasil. Recife: Embrapa Solos, 2007b. (Circular Técnico, 36).

SILVA, M. S.; BORGES, L. A. C.; FREITAS, E. M. Uma abordagem sobre a evolução da construção dos indicadores de sustentabilidade. **ANAP Brasil**, Tupã-Sp, v. 6, n. 7, p. 213-225, jun. 2013.

SILVA, Ma. S. L. *et al.* Barragem subterrânea: água para produção de alimentos. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Editores). **Potencialidades da água de chuva no semiárido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007a, cap. 6, p. 121-137.

SILVA, M. S. L. *et al.* Exploração agrícola em barragens subterrânea. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 6, jun.1998.

SILVA, R. M. da; BELDERRAIN, M. C. N. **Considerações sobre métodos de decisão multicritério**. São José dos Campos-SP: ITA, 2005. Obtido em: <<http://www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf>>. Acessado em: 28/11/2014.

SOUSA, E. P.; JUSTO, W. R.; CAMPOS, A. C. **Eficiência técnica da fruticultura irrigada no Ceará**. Rev. Econ. NE, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 851-866, out./dez.2013.

SOUZA, A. M. **Monitoração e ajuste de realimentação em processos produtivos multivariados**. 2000. Tese (Doutorado Engenharia de Produção) – Universidade Federal Santa Catarina, 2000.

SOUZA, M. J. N.; LIMA, F. A. M.; PAIVA, J. B. Compartimentação topográfica do Estado do Ceará. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 9, n. 1/2, p. 77-86, dez. 1979.

SRH-CE/FUNCEME. **Avaliação geoambiental de práticas conservacionistas implantadas na microbacia do rio Cangati, Canindé-CE.** Fortaleza: Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará/FUNCEME, 2010.

SUDENE/IPE. **Prancha da rede de drenagem do município de Boa Viagem-CE com áreas prováveis de aluviões.** Recife: SUDENE/Instituto de Pesquisas Espaciais, 1983.

SUDENE/IPE. **Projeto Ceará:** levantamento de áreas prováveis de ocorrência de aluviões. Recife: SUDENE/Instituto de Pesquisas Espaciais, 1983.

VAN BELLEN, Hans Michael. **Indicadores de Sustentabilidade:** Uma análise comparativa. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

VAN BELLEN, Hans Michel. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa.** Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005. 253 p.

VICINI, LORENA. **Análise multivariada da teoria à prática.** Santa Maria: UFSM, CCNE, 2005. 215 p.

VSF. **Subsurface dams:** a simple, safe and affordable technology for pastoralists. Belgium: Vétérinaires Sans Frontières, 2006. Disponível em [http://friendsofkitui.com/images/PDFs/Sub\\_surface\\_dams\\_VSF.pdf](http://friendsofkitui.com/images/PDFs/Sub_surface_dams_VSF.pdf). Acessado em: 20.maio.2011.



## APÊNDICES

APÊNDICE A. Questionário para coleta de informações do Método Painel de Sustentabilidade

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
**CURSO DE DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**  
 Doutorando: Francisco Mavignier Cavalcante França

**Questionário aplicado junto aos beneficiários de barragens subterrâneas**

Local/Distrito		GPS	
Município		Bacia hidrográfica	
Nome do Agricultor			
Questionário N <sup>o</sup>		Data	
Aplicador			
Celular do Aplicador			
Instituição quem construiu a barragem		Ano da construção	

**UNIDADE DE ANÁLISE**

Barragem subterrânea com cacimão e com um mínimo de exploração agrícola e/ou oferta de água. Explorada durante o período de junho a dezembro de 2014.

## Questionário aplicado junto aos beneficiários de barragens subterrâneas

### 1. PRIMEIRO SEGMENTO: DIMENSÃO ECONÔMICA

1.1. Qual o valor do investimento fixo: construção da barragem, do poço, despesas com a locação e com o treinamento? Marcar com um "x" o item correto.

Resposta Direta	OU	Resposta Indireta
<input type="checkbox"/> R\$ 3.000,00 a 4.000,00		Largura da barragem: ..... ____ m
<input type="checkbox"/> R\$ 4.001,00 a 5.000,00		Profundidade da barragem:.... ____ m
<input type="checkbox"/> R\$ 5.001,00 a 6.000,00		Profundidade do cacimbão: ... ____ m
<input type="checkbox"/> Mais de R\$ 6.001,00.		

1.2 Qual o valor das benfeitorias e equipamentos utilizados: cercas, fôrrageira, arado, moto-bomba, eletrificação, equipamentos de irrigação, etc.? Preencher o quadro.

Item	Valor atual em R\$	% de utilização na barragem
Cercas feitas na barragem		100%
Máquina fôrrageira		
Arado/cultivador		
Animal de trabalho		
Moto-bomba		
Rede de eletrificação		
Equipamento de irrigação		
Outro item:		
Outro item:		
Outro item:		

1.3 Qual o custo operacional das explorações no período de junho a dezembro de 2014? Preencher apenas a 2ª. coluna do quadro abaixo.

Explorações	Área explorada em ha	Valor do custeio <sup>(*)</sup> das explorações em R\$
Fôrrageira (capim, cana, sorgo, etc.)		
Milho		
Feijão/fava		
Jerimum		
Batata		
Hortaliças		
Outros itens		

(\*) Não responder.

1.4 Qual é a estimativa de gasto com energia elétrica ou combustível no 2º. semestre de 2014 na barragem subterrânea? Marcar com um “x” o item correto.

- Não há gasto com energia elétrica nem com combustível
- Até 50,00 por mês
- R\$ 51,00 a 80,00 por mês
- R\$ 81,00 a 100,00 por mês
- R\$ 101,00 a 150,00 por mês
- Mais de R\$ 150,00 por mês

1.5 Qual foi a receita com a venda do excedente de produção (alimentos para consumo humano)? Marcar com um “x” o item correto.

- Não houve excedente
- Até R\$ 500,00
- R\$ 501,00 a 1.000,00
- R\$ 1.001,00 a 1.500,00
- Mais de R\$ 1.500,00

1.6 Qual o valor do empréstimo de custeio feito em banco ou por outros meios? Marcar com um “x” o item correto.

- Não tirou empréstimo
- Até R\$ 1.000,00
- R\$ 1.001,00 a 2.000,00
- R\$ 2.001,00 a 3.000,00
- Mais de R\$ 3.001,00.

1.7 Qual foi a valorização da terra explorada na barragem, após sua construção? Marcar com um “x” o item correto.

- Até 50%
- De 50 a 100%
- Mais de 100%.

1.8 Qual a quantidade de homens/dia (diária) foram utilizadas na exploração da barragem no 2º. Semestre e 2014? Marcar com um “x” o item correto.

- Até 30 h/dia
- De 30 a 60 h/dia
- De 60 a 90 h/dia
- Mais de 90 h/dia.

## 2. SEGUNDO SEGMENTO: DIMENSÃO SOCIAL

2.9 Quantas pessoas da comunidade, inclusive o beneficiário, participaram da construção da barragem e do poço? Marcar com um “x” o item correto.

- Até duas pessoas
- De três a cinco pessoas
- De seis a oito pessoas
- Mais de oito pessoas.

2.10 Qual a percentagem de mão de obra familiar, sobre o total, foi utilizada no pico dos trabalhos de cultivo das explorações da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- 100%
- 80 a 99%
- 50% a 79%
- 25% a 49%
- Abaixo de 25%

2.11 Quantos jovens (15 a 19 anos) trabalharam na barragem no 2º. Semestre de 2014?

- Nenhum
- Um
- Dois
- Mais de dois

2.12 Qual o número de pessoas da comunidade, inclusive a família do proprietário, foram beneficiadas com água para todos os fins, inclusive pecuária? Marcar com um “x” o item correto.

- Até 5 pessoas
- 6 a 10 pessoas
- 11 a 15 pessoas
- 16 a 20 pessoas
- Mais de 20 pessoas.

2.13 Qual a quantidade de mulheres que trabalharam nas explorações da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Nenhuma
- Apenas uma
- Duas
- Mais de duas

2.14 Qual o nível de escolaridade do proprietário da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Sem escolaridade formal
- Até três anos
- De quatro a seis anos
- Mais de seis anos.

2.15 Qual a estimativa da quantidade máxima de água pode ser acumulada na barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Até 10.000 m<sup>3</sup>
- 10.001 a 15.000 m<sup>3</sup>
- Mais de 15.000 m<sup>3</sup>

2.16 Qual a quantidade de membros da família do proprietário (trabalhador rural) que saíram a procura de trabalho no 2º. Semestre de 2014? Marcar com um “x” o item correto.

- Nenhum
- Um
- Dois.
- Mais de dois.

2.17 Qual a quantidade de membros da família do proprietário que são beneficiários de programas sociais (Bolsa Família, Aposentadoria, Seguro Safra, etc.)? Marcar com um “x” o item correto.

- Nenhum
- Um
- Dois
- Mais de dois

2.18 Qual o consumo familiar de água da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Não há consumo familiar de água da barragem
- Consome até 1 m<sup>3</sup> por semana
- Consome de 1 a 1,5 m<sup>3</sup> por semana
- Consome mais de 1,5 m<sup>3</sup> por semana.

2.19 A barragem atendeu ao que o Sr. esperava? Marcar com um “x” o item correto.

- Não atendeu (0%)
- Atendeu pouco (30%)
- Atender mais ou menos (70%)
- Atendeu muito bem (100%).

2.20 A barragem está provocando conflitos com os vizinhos? Marcar com um “x” o item correto.

- Não existem conflitos
- Há poucos conflitos
- há muitos conflitos

### 3. TERCEIRO SEGMENTO: DIMENSÃO AMBIENTAL

3.21 Qual é a área da barragem explorada com agricultura? Marcar com um “x” o item correto.

- Até 0,5 hectare
- De 0,6 a 1,0 hectare
- 1,1 a 2,0 hectares
- mais de 2,0 hectares.

3.22 Qual é a área da bacia hidráulica da barragem (área de abrangência do lençol freático)? Marcar com um “x” o item correto.

- Até 1,5 hectare
- De 1,6 a 2,5 hectare
- De 2,6 a 3,5 hectares
- Mais de 3,6 hectares

3.23 Qual é o grau de salinidade da água retirada do cacimbão? Marcar com um “x” o item correto.

- Não é salgada (dá para beber)
- É pouco salgada (dá para beber)
- É mais ou menos (só o gado bebe)
- É muito salgada (nem o gado bebe)

3.24 Qual é a qualidade do solo da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Terra forte
- Mais ou menos
- Terra fraca.

3.25 Qual é a área de mata ciliar sob influência da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Até 0,5 hectare
- De 0,6 a 1,0 hectare
- Mais de 1,0 hectare.

3.26 Qual foi o aumento da presença de mamíferos, pássaros silvestres e abelhas após a construção da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Até 50%
- De 51 a 100%
- Mais de 100%.

3.27 Qual foi o nível da água do poço em novembro de 2014? Marcar com um “x” o item correto.

- Poço seco
- Até 50 cm de água
- 51cm a 1,0 metro de água
- De 1,1 a 2,0 metros de água
- Mais de 2,0 metros de água

3.28 Em que mês de 2014 o cacimbão encheu? Marcar com um “x” o item correto.

- Não encheu
- Março
- Abril
- Maio
- Junho

3.29 Houve uso de adubação orgânica (esterco, compostagem, etc.) nas explorações? Marcar com um “x” o item correto.

- Não usou, mas precisava
- Não usou porque não precisava
- Usou muito
- Usou mais ou menos
- Usou pouco

3.30 Houve uso de fertilizantes naturais (calcário, NPK, etc.) nas explorações? Marcar com um “x” o item correto.

- Não usou, mas precisava
- Não usou porque não precisava
- Usou muito
- Usou mais ou menos
- Usou pouco

3.31 Houve uso de agrotóxicos (pesticidas, fungicidas, etc.) nas explorações? Marcar com um “x” o item correto.

- Não usou, mas precisava
- Não usou porque não precisava
- Usou muito
- Usou mais ou menos
- Usou pouco

#### 4. QUARTO SEGMENTO: DIMENSÃO INSTITUCIONAL

4.32 Quantas horas foram recebidas de capacitação teórica e/ou prática (dias de campo) sobre construção e utilização de barragens subterrâneas? Marcar com um “x” o item correto.

- Não recebeu nenhuma capacitação
- Até 10 horas de capacitação
- De 11 a 25 horas de capacitação
- de 26 a 50 horas de capacitação
- Mais de 50 horas de capacitação.

4.33. Qual foi a frequência da assistência técnica pública na exploração da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Não recebeu assistência técnica
- Apenas uma visita no ano
- De duas a quatro visitas no ano.
- Mais de quatro visitas no ano.

4.34. Quantas visitas de monitoramento dos agentes governamentais (financiador da barragem) foram recebidas, após a construção da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Não recebeu nenhuma visita
- Apenas uma visita no ano de 2014
- De duas a quatro visitas em 2014
- Mais de quatro visitas no ano de 2014.



4.35 Qual a situação estrutural da barragem no segundo semestre de 2014? Marcar com um “x” o item correto.

- Com cacimbão, enrocamento e cercas concluídos
- Só o cacimbão e o enrocamento concluídos
- Só o cacimbão concluído.
- Sem cacimbão, cercas e enrocamento concluídos.

4.36 Qual a extensão do eixo barrada (parede)? Marcar com um “x” o item correto.

- Menos de 30 metros
- De 31 a 50 metros
- De 51 a 80 metros
- Mais de 80 metros

4.37 Qual a profundidade da vala? Marcar com um “x” o item correto.

- Menos de 1,0 metro
- De 1,1 a 2,0 metros
- De 2,1 a 3,0 metros
- Mais de 3,0 metros

4.38 Que procedimentos foram feitos para definir a localização da parede da barragem? Marcar com um “x” o item correto.

- Estudo completo
- Estudo parcial e experiência do técnico
- Só experiência do proprietário/técnico
- Não se levou em conta critérios técnicos

4.39 Qual foi o percentual de venda da produção aos programas governamentais em relação á produção total de alimentos? Marcar com um “x” o item correto.

- Não houve venda para os programas governamentais
- Vendeu abaixo de 15% da produção os programas governamentais
- Vendeu de 16 a 30% da produção para os programas governamentais
- Vendeu mais de 30% aos programas governamentais

4.40 Qual a participação em eventos/reuniões para ajudar o Governo a elaborar os programas de barragens subterrâneas? Marcar com um “x” o item correto.

- Não participou
- Participei de apenas um evento
- Participei de dois eventos
- Participei de mais de dois eventos.

4.41 Houve assinatura de termo de servidão pública da água? Marcar com um “x” o item correto.

- Não assinou
- Assinou

4.42 Para a implantação da barragem houve reuniões de discussão na organização comunitária da região de morada? Marcar com um “x” o item correto.

- Não houve nenhuma reunião
- Houve apenas uma reunião
- Houve mais de uma reunião

4.43 Quantas visitas foram recebidas em 2014 de outros agricultores familiares interessados em adotar a mesma tecnologia em suas propriedades? Marcar com um “x” o item correto.

- Não recebi nenhuma visita
- Recebi apenas uma visita
- Recebi de duas a quatro visitas
- Recebi mais de quatro visitas.

APÊNDICE B - Questionário1: Avaliação da importância dos critérios à luz do foco principal: **barragem que gera mais benefício à sociedade**

Marque com um **X** uma opção em cada uma das linhas apresentadas no quadro abaixo, conforme as escalas propostas.  
A comparação deve ser iniciada com as alternativas da Coluna A, comparando-os com os critérios da Coluna B.

Critério A	"A"MAIS IMPORTANTE				A = B	"B"MAIS IMPORTANTE				Critério B
	9 Absoluta	7 muito grande	5 grande	3 pequena	1 Igual	3 Pequena	5 grande	7 muito grande	9 Absoluta	
Viabilidade Econômica	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Ganhos Sociais
Viabilidade Econômica	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Impactos Ambientais
Viabilidade Econômica	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Efetividade Institucional
Ganhos Sociais	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Impactos Ambientais
Ganhos Sociais	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Efetividade Institucional
Impactos Ambientais	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Efetividade Institucional

## APÊNDICE B - Questionário 2: Avaliação do desempenho das alternativas de barragens à luz dos critérios.

Marque com um **X** uma opção em cada uma das linhas apresentadas no quadro abaixo, conforme as escalas propostas.  
A comparação deve ser iniciada com as alternativas da Coluna A, comparando-os com os critérios da Coluna B.

### a) Critério: Viabilidade Econômica

Alternativa A (tipo de barragem)	PREFIRO A ALTERNATIVA "A"				A = B	PREFIRO A ALTERNATIVA "B"				Alternativa B (tipo de barragem)
	9 Absoluta	7 muito grande	5 grande	3 pequena	1 Iguar	3 Pequena	5 grande	7 muito grande	9 Absoluta	
Barragem para Agricultura	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para oferta de água
Barragem para Agricultura	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para ganhos ambientais
Barragem para oferta de água	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para ganhos ambientais

### b) Critério: Ganhos Sociais

Alternativa A (tipo de barragem)	PREFIRO A ALTERNATIVA "A"				A = B	PREFIRO A ALTERNATIVA "B"				Alternativa B (tipo de barragem)
	9 Absoluta	7 muito grande	5 grande	3 pequena	1 Iguar	3 Pequena	5 grande	7 muito grande	9 Absoluta	
Barragem para Agricultura	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para oferta de água
Barragem para Agricultura	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para ganhos ambientais
Barragem para oferta de água	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para ganhos ambientais

## c) Critério: Impactos Ambientais

Alternativa A (tipo de barragem)	PREFIRO A ALTERNATIVA "A"				A = B	PREFIRO A ALTERNATIVA "B"				Alternativa B (tipo de barragem)
	9 Absoluta	7 muito grande	5 grande	3 pequena	1 Iguar	3 Pequena	5 grande	7 muito grande	9 Absoluta	
Barragem para Agricultura	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para oferta de água
Barragem para Agricultura	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para ganhos ambientais
Barragem para oferta de água	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para ganhos ambientais

## d) Critério: Efetividade Institucional

Alternativa A (tipo de barragem)	PREFIRO A ALTERNATIVA "A"				A = B	PREFIRO A ALTERNATIVA "B"				Alternativa B (tipo de barragem)
	9 Absoluta	7 muito grande	5 grande	3 pequena	1 Iguar	3 Pequena	5 grande	7 muito grande	9 Absoluta	
Barragem para Agricultura	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para oferta de água
Barragem para Agricultura	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para ganhos ambientais
Barragem para oferta de água	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	Barragem para ganhos ambientais

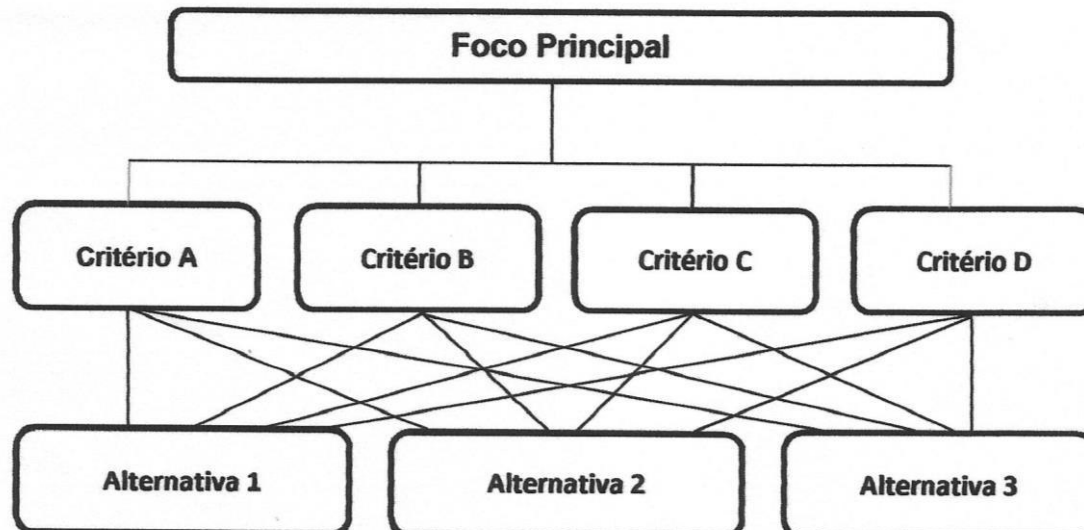
## APÊNDICE C - Exemplo da aplicação do método AHP com a utilização de dados hipotéticos

Neste apêndice, desenvolve-se uma aplicação hipotética do método AHP, de acordo com as seguintes etapas: modelagem do problema; julgamento de valor; quadros ou matrizes de julgamento; prioridade média local e global e análise de consistência.

### 1. Hierarquização

Primeiramente, apresenta-se o diagrama de hierarquização com a modelagem do problema a ser estudado, em que é apresentado o foco principal, os quatro critérios (critérios A, B, C e D) e as três alternativas (alternativas 1, 2 e 3), conforme Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Diagrama da hierarquização de um exemplo hipotético da aplicação do método AHP



### 2. Quadros de julgamento

Os quadros de julgamento são construídos com base nos dados coletados pela aplicação de quatro questionários, que avaliam o desempenho das alternativas à luz dos critérios, e um questionário sobre a importância dos critérios à luz do foco

principal, ao grupo de respondentes devidamente selecionados. As cinco matrizes recíprocas são obtidas aplicando-se a Escala Fundamental de Saaty.

Quadro 1 - Desempenho das alternativas à luz do critério A

Critério A	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1	7	9
Alternativa 2	1/7	1	3
Alternativa 3	1/9	1/3	1

Quadro 2 - Desempenho das alternativas à luz do critério B

Critério B	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1	3	5
Alternativa 2	1/3	1	5
Alternativa 3	1/5	1/5	1

Quadro 3 - Desempenho das alternativas à luz do critério C

Critério C	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1	1	3
Alternativa 2	1	1	5
Alternativa 3	1/3	1/5	1

Quadro 4 - Desempenho das alternativas à luz do critério D

Critério D	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1	3	5
Alternativa 2	1/3	1	1
Alternativa 3	1/5	1	1

Quadro 5 - Importância dos critérios à luz do Foco Principal

Foco Principal	Critério A	Critério B	Critério C	Critério D
Critério A	1	7	5	3
Critério B	1/7	1	3	2
Critério C	1/5	1/3	1	3
Critério D	1/3	1/2	1/3	1

Quadro auxiliar 1.1 - Somatório das colunas do Quadro 1

Critério A	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1	7	9
Alternativa 2	1/7	1	3
Alternativa 3	1/9	1/3	1
Σ colunas	$1+1/7+1/9=1,25$	$7+1+1/3=8,33$	$9+3+1=13$

Quadro auxiliar 1.2 - Divisão das células das colunas do quadro 1 pela soma da mesma coluna

Critério A	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1/1,25	7/8,33	9/13
Alternativa 2	0,14/1,25	1/8,33	3/13
Alternativa 3	0,11/1,25	0,33/8,33	1/13

Quadro 6 - Quadro normalizado para o critério A (ver quadro auxiliar 1.2)

Critério A	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	0,80	0,84	0,69
Alternativa 2	0,11	0,12	0,23
Alternativa 3	0,09	0,04	0,08
$\Sigma$ colunas	1,00	1,00	1,00

O mesmo procedimento deverá ser feito para os critérios B, C, D e para o Foco Principal.

### 3. Cálculo das Prioridades Médias (PML)

O passo a passo para a obtenção da PML é realizado por meio dos quadros a seguir:

Quadro auxiliar 1.3 - Soma das linhas do quadro 6

Critério A	Altern. 1	Altern. 2	Altern. 3	PML do Critério A
Alternativa 1	0,80	0,84	0,69	$(0,80+0,84+0,69) = 2,33$
Alternativa 2	0,11	0,12	0,23	$(0,11+0,12+0,23) = 0,46$
Alternativa 3	0,09	0,04	0,08	$(0,09+0,04+0,08) = 0,21$

Ou seja,

$$PML_{\text{critério A}} = (2,33; 0,46; 0,21)$$

Isto significa que, à luz do Critério A, tem-se:

- Alternativa 1 tem prioridade igual a 2,33;
- Alternativa 2 tem prioridade igual a 0,46; e
- Alternativa 3 tem prioridade igual a 0,21.



Aplicando procedimento análogo, com os demais quadros normalizados, obtêm-se os valores das outras prioridades locais (PML), para o problema do exemplo. Assim, tem-se:

- $PML_{\text{critérioB}} = (1,82; 0,91; 0,25) \rightarrow$  prioridade média local para as alternativas à luz do critério B;
- $PML_{\text{critérioC}} = (1,22; 1,44; 0,34) \rightarrow$  prioridade média local para as alternativas à luz do critério C;
- $PML_{\text{critérioD}} = (1,97; 0,56; 0,47) \rightarrow$  prioridade média local para as alternativas à luz do critério D;
- $PML_{\text{foco principal}} = (2,25; 0,73; 0,59; 0,40) \rightarrow$  prioridade média local para a importância dos critérios à luz do Foco Principal.

#### 4. Prioridades Médias Globais (PG)

De forma semelhante ao cálculo das PML, as PG são obtidas a partir dos quadros apresentados a seguir. Nesta etapa, é feita a combinação das PML, com os valores (vetor) de prioridade global. Segue o passo a passo, feito por meio de quadros didáticos.

Quadro 7 - Prioridade média local do Foco Principal à luz dos critérios

Critérios	A	B	C	D
$PML_{\text{Foco Principal}}$	2,25	0,73	0,59	0,40

Quadro 8 - Prioridade média local dos critérios à luz das alternativas

Critérios	A	B	C	D
$PML_{\text{Alternativas}}$	2,33; 0,46; 0,21	1,82; 0,91; 0,25	1,22; 1,44; 0,34	1,97; 0,56; 0,47

- Prioridade Global da Alternativa 1 =

$$= (2,25 \times 2,33 + 0,73 \times 1,82 + 0,59 \times 1,22 + 0,40 \times 1,97) = 8,08;$$

$\downarrow$  Desempenho da Alternativa 1, à luz do critério A.  
 $\downarrow$  Prioridade do critério A, à luz do foco principal.

- Prioridade Global da Alternativa 2 =  
 $= (2,25 \times 0,46 + 0,73 \times 0,91 + 0,59 \times 1,44 + 0,40 \times 0,56) = 2,76;$
- Prioridade Global da Alternativa 3 =  
 $= (2,25 \times 0,21 + 0,73 \times 0,25 + 0,59 \times 0,34 + 0,40 \times 0,47) = 1,04$

Prioridade global (8,08; 2,76; 1,04)
--------------------------------------

## 5. Análise de consistência

Segundo Costa (2004), para mensurar a intensidade ou inconsistência em matriz de julgamentos, avalia-se o quanto o maior autovalor desta matriz se afasta da ordem da mesma. Para o cálculo do índice de inconsistência, Saaty (1991) propõe a seguinte equação:

$$IC = [(\lambda_{\max} - N)] / (N - 1)$$

sendo:

N a ordem da matriz

$\lambda_{\max}$  o maior autovalor da matriz de julgamentos paritários.

### a) Cálculo de $\lambda_{\max}$

Para o cálculo de  $\lambda_{\max}$ , Saaty (2000) propõe o procedimento em que se utiliza cada uma das matrizes de desempenho das alternativas à luz dos critérios. Neste exemplo, foi utilizada apenas uma matriz para o cálculo da consistência, ou seja, a matriz do Quadro 3, repetido a seguir:

Desempenho das alternativas à luz do critério C, no caso:

Critério C	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Alternativa 1	1	1	3
Alternativa 2	1	1	5
Alternativa 3	1/3	1/5	1

Recorrendo-se ao item 3 deste apêndice, encontra-se o vetor de prioridades para referida matriz, ou seja:

$$PML_{\text{critério C}}(1,22; 1,44; 0,34).$$

O próximo passo é gerar uma matriz auxiliar (A), utilizando-se a matriz de desempenho das alternativas, à luz do critério C e multiplicando suas colunas pelas prioridades, como segue:

$$A = \begin{bmatrix} 1 \times 1,22 & 1 \times 1,44 & 3 \times 0,34 \\ 1 \times 1,22 & 1 \times 1,44 & 5 \times 0,34 \\ 0,33 \times 1,22 & 0,2 \times 1,44 & 1 \times 0,34 \end{bmatrix}$$

Efetuando-se os cálculos, obtêm-se a seguinte matriz:

$$A' = \begin{bmatrix} \mathbf{1,22} & 1,44 & 1,02 \\ 1,22 & \mathbf{1,44} & 4,36 \\ 0,40 & 0,28 & \mathbf{0,34} \end{bmatrix}$$

Considerar agora um vetor de prioridade auxiliar (P'), obtido a partir da soma das linhas da matriz auxiliar A', ou seja,

$$P'_{\text{critério C}} = (3,68; 4,36; 1,02).$$

A seguir, divide-se os elementos do vetor acima (P') pelos elementos do vetor de prioridade  $PML_{\text{critério C}}$ , obtendo-se:

$$\begin{aligned} P_{\text{auxiliar}} &= (3,68/1,22; 4,36/1,44; 1,02/0,34) \\ &= (3,02; 3,03; 3,00). \end{aligned}$$

Então,  $\lambda_{\max}$  é a soma dos elementos armazenados em  $P_{\text{auxiliar}}$  dividido pela ordem da matriz, ou seja:

$$\lambda_{\max} = (3,02 + 3,03 + 3,00) / 3 = 3,016$$

A partir deste valor, calcula-se o Índice de Consistência (IC), adotando-se o seguinte procedimento:

$$\begin{aligned} \text{IC} &= [(\lambda_{\max} - N)] / (N - 1) \\ &= [(3,016 - 3)] / (3-1) \\ &= 0,016 / 2 \\ &= 0,008. \end{aligned}$$

A Razão de Consistência (RC), utilizando-se a fórmula proposta por Saaty, é:

$$\begin{aligned} \text{RC} &= \text{IC} / \text{IR} \\ &= 0,008 / 0,58 \\ &= 0,014. \end{aligned}$$

Como 0,014 é inferior a 0,10, a matriz de prioridade do critério C é consistente. De acordo com Saaty (2006), o resultado de RC deve ser menor que 0,10, caso contrário a qualidade dos julgamentos deve ser melhorada, por meio de uma revisão das estimativas.

APÊNDICE D – *Output* da análise de componentes principais das variáveis originais selecionadas para o Painel da Sustentabilidade, segundo a dimensão do desenvolvimento sustentável

### a) Dimensão ambiental

**Component Loadings** (carga das componentes)

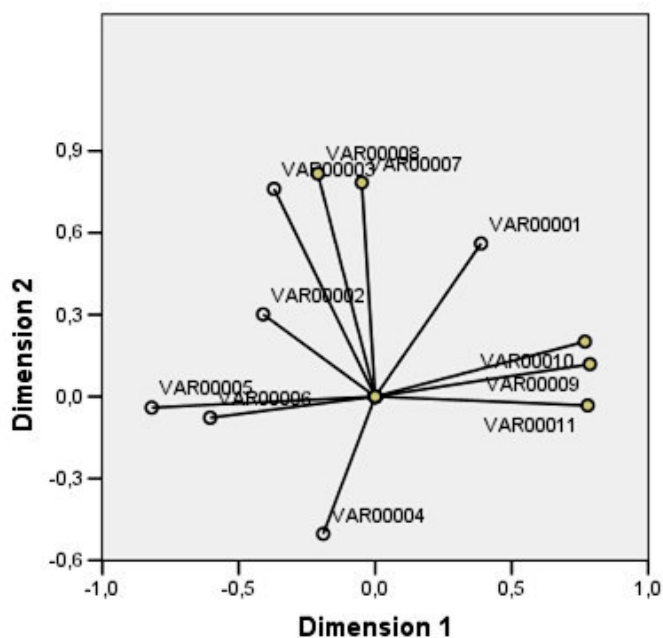
Variable	Dimension	
	1	2
VAR00001	,388	,561
VAR00002	-,410	,301
VAR00003	-,371	,761
VAR00004	-,190	-,503
VAR00005	-,819	-,040
VAR00006	-,605	-,077
VAR00007	-,049	,784
VAR00008	-,210	,817
VAR00009	,786	,119
VAR00010	,768	,202
VAR00011	,778	-,032

Legenda:

- VAR01 - Área explorada com agricultura.
- VAR02 - Área da bacia hidráulica, em ha.
- VAR03 - % de barragens com média salinidade.
- VAR04 - % de barragens com solo de boa qualidade.
- VAR05 - Área de mata ciliar, em ha.
- VAR06 - % de melhoria da flora e da fauna
- VAR07 - Nível do poço em novembro/2014 (m).
- VAR08 - % de barragens que encheram em 2014.
- VAR09 - % de barragens com uso de adubo orgânico.
- VAR10 - % de barragens com uso de fertilizantes.
- VAR11 - % de barragens com uso de agrotóxicos.

Variable Principal Normalization.

### Component Loadings



Variable Principal Normalization.

Observação: O pacote computacional utilizado foi o SPSS.

## b) Dimensão social

### Component Loadings (carga das componentes)

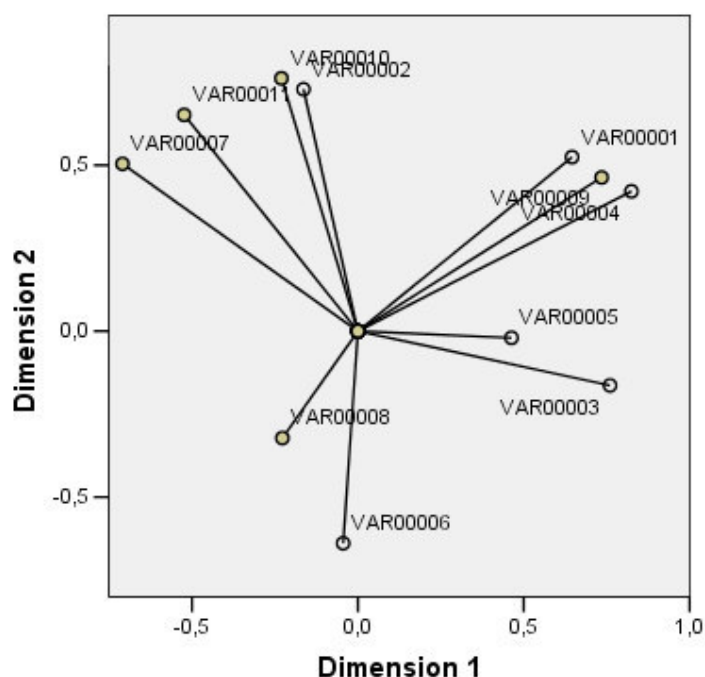
Variable	Dimension	
	1	2
VAR00001	,646	,524
VAR00002	-,164	,729
VAR00003	,760	-,163
VAR00004	,825	,421
VAR00005	,463	-,020
VAR00006	-,044	-,639
VAR00007	-,710	,504
VAR00008	-,228	-,322
VAR00009	,735	,463
VAR00010	-,231	,762
VAR00011	-,524	,652

#### Legenda:

- VAR01 - Envolvimento da comunidade na construção.
- VAR02 - % de mão de obra familiar na agricultura.
- VAR03 - Quantidade de jovens na agricultura.
- VAR04 - Nº de pessoas beneficiadas com água.
- VAR05 - Mulheres trabalhando na agricultura.
- VAR06 - Nível educacional do proprietário.
- VAR07 - Quantidade máxima de água acumulável.
- VAR08 - Migração sazonal de membros da família.
- VAR09 - Renda familiar de programas sociais.
- VAR10 - Consumo familiar de água da barragem.
- VAR11 - Nível de satisfação com a barragem.

Variable Principal Normalization.

### Component Loadings



Variable Principal Normalization.

Observação: O pacote computacional utilizado foi o SPSS.

### c) Dimensão econômica

**Component Loadings** (carga das componentes)

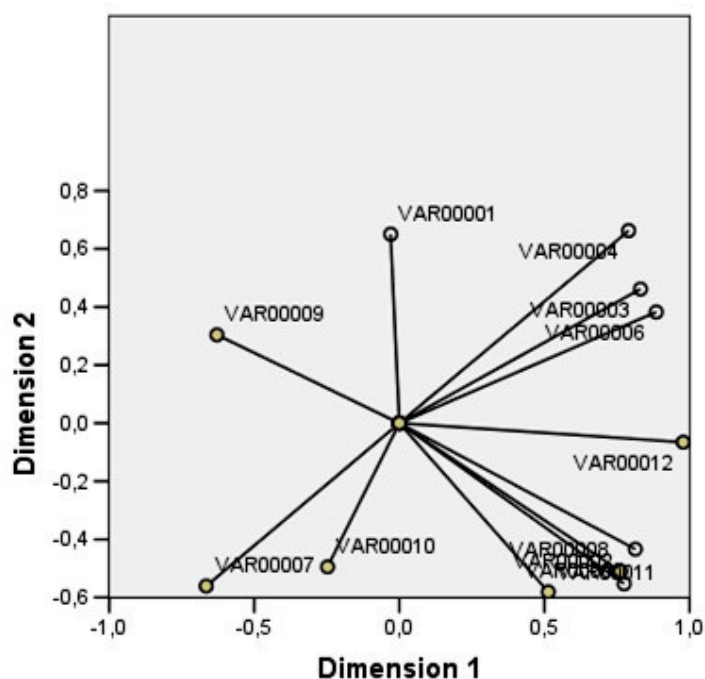
Variable	Dimension	
	1	2
VAR00001	-,030	,651
VAR00002	,774	-,553
VAR00003	,831	,461
VAR00004	,790	,663
VAR00005	,813	-,434
VAR00006	,885	,382
VAR00007	-,665	-,560
VAR00008	,762	-,510
VAR00009	-,629	,304
VAR00010	-,247	-,495
VAR00011	,513	-,581
VAR00012	,978	-,066

Legenda:

- VAR01 - Valor do investimento na barragem.
- VAR02 - Valor dos investimentos em benfeitorias.
- VAR03 - Custo operacional em 2014.
- VAR04 - Quantidade de explorações agrícolas.
- VAR05 - Gasto com energia elétrica
- VAR06 - Receita bruta anual.
- VAR07 - % da área com forrageiras s/total.
- VAR08 - Excedente vendido.
- VAR09 - Autoconsumo.
- VAR10 - Empréstimos.
- VAR11 - Valorização da terra.
- VAR12 - Homens/dia utilizados na agricultura

Variable Principal Normalization.

### Component Loadings



Variable Principal Normalization.

Observação: O pacote computacional utilizado foi o SPSS.

### d) Dimensão institucional

**Component Loadings** (carga das componentes)

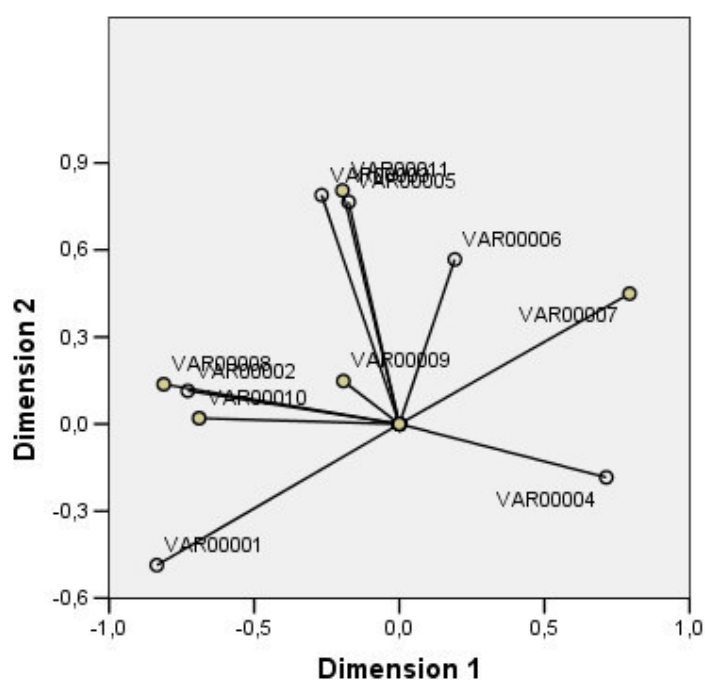
Variable	Dimension	
	1	2
VAR00001	-,836	-,486
VAR00002	-,729	,115
VAR00003	-,268	,789
VAR00004	,713	-,184
VAR00005	-,175	,766
VAR00006	,191	,567
VAR00007	,793	,449
VAR00008	-,812	,137
VAR00009	-,193	,148
VAR00010	-,690	,020
VAR00011	-,196	,805

Legenda:

- VAR01 - Número de horas de capacitação.
- VAR02 - Frequência da assistência técnica pública.
- VAR03 - Visitas de monitoramento, em 2014.
- VAR04 - VAR06 % de barragens concluídas em 2014.
- VAR05 - Extensão do eixo barrado.
- VAR06 - Profundidade da vala.
- VAR07 - % de rigor técnico na locação da barragem.
- VAR08 - Participação em eventos s/ a barragem.
- VAR09 - Servidão pública da barragem
- VAR10 - Envolvimento de associações da comunidade.
- VAR11 - Efeito demonstração das barragens.

Variable Principal Normalization.

### Component Loadings



Variable Principal Normalization.

Observação: O pacote computacional utilizado foi o SPSS.



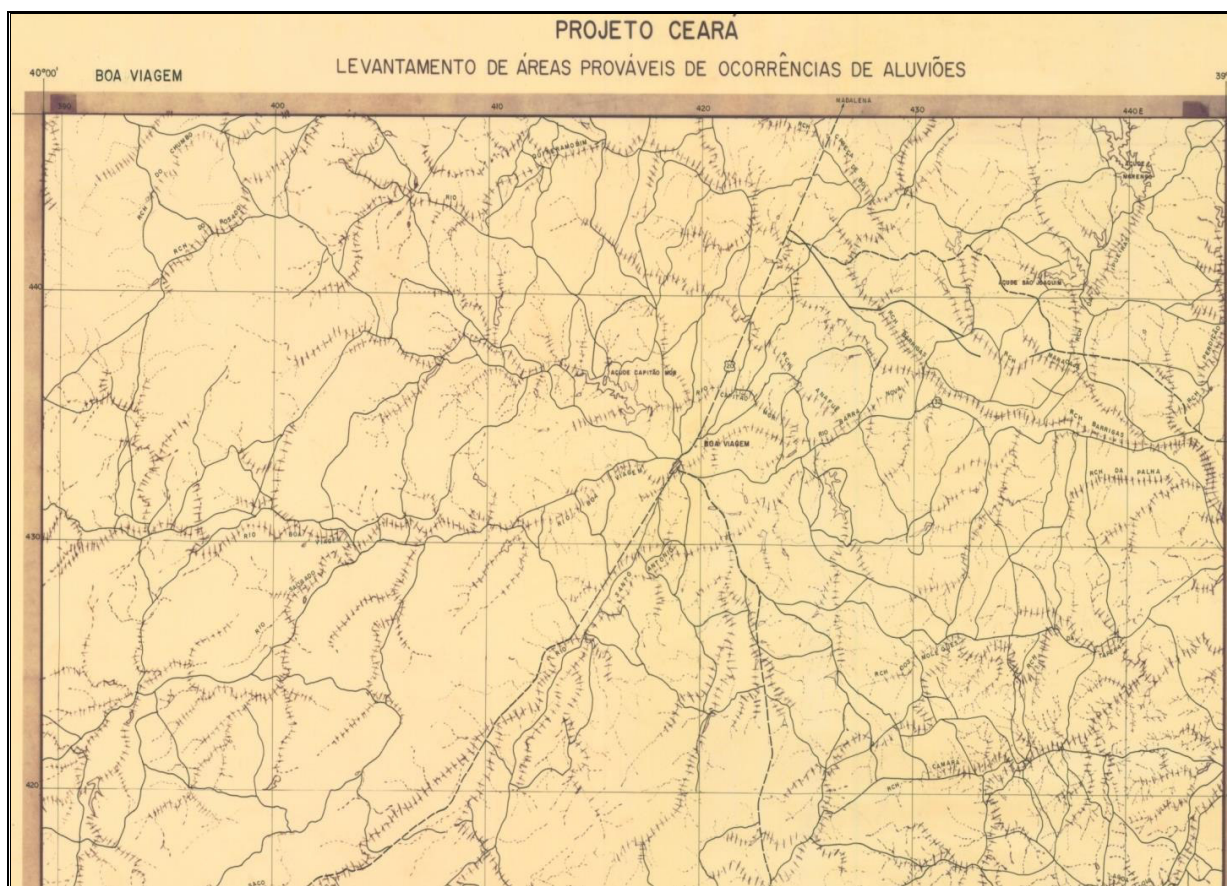
APÊNDICE E – Valores máximos e mínimos, das médias aritméticas e dos desvios padrões das variáveis quantitativas decorrentes dos 40 questionários aplicados

Variáveis	N	Valores mínimos	Valores máximos	Média Aritmética	Desvio padrão
Investimento inicial (R\$)	40	3.000,00	9.945,00	5.655,73	1.334,45
Investimento com benfeitorias (R\$)	40	200,00	2.950,00	1.150,37	681,36
Custo operacional (R\$)	40	60,00	2.300,00	657,57	593,63
Quantidade explorações (unidade)	40	1,00	6,00	2,02	1,20
Custo com energia elétrica (R\$)	40	,00	90,00	15,50	27,07
Valor bruto da produção (R\$)	40	76,00	7.083,00	17.44,77	1.912,02
% da área com forrageiras	40	0	100	60,60	37,41
% do autoconsumo familiar	40	50,00	100,00	94,12	14,62
Valorização terra (%)	40	30,00	150,00	67,37	31,88
Homens/dia utilizados	40	10,00	95,00	29,87	18,13
Mutirão para a construção (pessoas)	40	2,00	10,00	4,65	2,58
Mão de obra familiar na exploração (%)	40	20,00	100,00	86,50	24,94
Beneficiários de programas sociais (quant.)	40	,00	3,00	1,67	,82
Consumo de água pela família (m <sup>3</sup> )	40	,00	3,00	,47	,87
Expectativa atingida p/ barragem (%)	40	,00	100,00	69,50	29,69
Área da bacia hidráulica (ha)	40	1,50	5,00	2,52	1,07
Quant. de eventos de planejamento	40	,00	3,00	1,15	1,23
Quant. de associações envolvidas	40	,00	2,00	1,10	,87
Quant. de visitas técnicas	40	,00	6,00	1,60	1,91
Escolaridade do dono da barragem (anos)	40	,00	3,00	1,35	1,18
Volume d'água da barragem (m <sup>3</sup> )	40	8.000,00	19.000,00	13.425,00	3.543,77
Beneficiários da comunidade com água	40	2,00	25,00	6,15	5,99
Área explorada com atividades agrícolas (ha)	40	,20	5,00	1,28	1,07
Área de mata ciliar da barragem (ha)	40	,40	2,00	,90	,44
Melhoria da fauna (%)	40	30	150	63,38	31,52
Nível de água do poço (m)	40	,00	3,00	,79	1,01
Horas de capacitação	40	,00	70,00	18,30	21,63
Extensão do eixo (m)	40	20,00	162,00	51,65	26,79
Profundidade da vala da barragem (m)	40	1,50	5,00	3,40	,83

Fonte: elaboração do autor com a utilização do SPSS

**ANEXOS**

ANEXO A – Mapa com detalhes da rede de drenagem de parte do município de Boa Viagem com áreas prováveis e aluviões (serrilhadas) na escala 1:100.000



Fonte: SUDENE/IPE (1983)

ANEXO B – Quadro com a quantidade de rios e riachos existentes em municípios cearenses com potencial para implantação de barragens subterrâneas. (Fonte: Oliveira, 2012)

Municípios	Quant.	Municípios	Quant.	Municípios	Quant.
1-Abaiara	5	2-Acarape	7	3-Acaraú	16
4-Acopiara	29	5-Aiuaba	34	6-Alcântaras	5
7-Altaneira	5	8-Alto Santo	14	9-Amontada	27
10-Antonina Norte	9	11-Apuiares	14	12-Aquiraz	5
13-Aracati	11	14-Aracoíaba	9	15-Ararendá	2
16-Acarape	3	17-Aratuba	7	18-Arneiroz	39
19-Assaré	36	20-Aurora	16	21-Baixio	2
22-Banabuiu	37	23-Barbalha	2	24-Barreira	6
25-Barro	22	26-Barraquinha	8	27-Baturité	8
28-Beberibe	26	29-Bela Cruz	13	30-Boa Viagem	63
31-Brejo Santo	14	32-Camocim	17	33-Campos Sales	18
34-Canindé	81	35-Capistrano	9	36-Caridade	23
37-Carire	13	38-Caririaçu	22	39-Carius	25
40-Carnaubal	5	41-Cascavel	9	42-Catarina	13
43-Catunda	38	44-Caucaia	31	45-Cedro	15
46-Chaval	8	47-Choró	26	48-Chorozinho	4
49-Coreau	19	50-Crateús	60	51-Crato	15
52-Croatá	9	53-Cruz	5	54-D. I. Pinheiro	19
55-Ereré	8	56-Farias Brito	29	57-Forquilha	19
58-Fortim	16	59-Frecheirinha	10	60-Gel. Sampaio	7
61-Graça	9	62-Granja	52	63-Granjeiro	3
64-Groairas	6	65-Guaiuba	15	66-Guaraciaba	17
67-Guasmiranga	2	68-Hidrolândia	24	69-Horizonte	4
70-Ibaretama	26	71-Ibiapina	6	72-Ibicuitinga	13
73-Icapui	2	74-Icó	45	75-Iguatu	19
76-Independência	63	77-Ipaporanga	21	78-Ipaumirim	6
79-Ipu	19	80-Ipueiras	39	81-Iracema	16
82-Irauçuba	52	83-Itaíçaba	3	84-Itaitinga	4
85-Itapajé	22	86-Itapipoca	32	87-Itapiuna	22
88-Itarema	28	89-Itatira	22	90-Jaguaretama	40
91-Jaguaribara	10	92-Jaguaribe	32	93-Jaguaruana	2
94-Jardim	7	95-Jati	9	96-Jericoacoara	4
97-Juazeiro Norte	4	98-Jucás	24	99-L. Mangabeira	20
100-Limoeiro Norte	7	101-Madalena	33	102-Maranguape	14
103-Marco	19	104-Martinópolis	7	105-Massapé	21
106-Mauriti	25	107-Meruoca	11	108-Milagres	13
109-Milhã	15	110-Miraima	30	111-Missão Velha	16
112-Mombaça	33	113-Mons. Tabosa	30	114-Morada Nova	39
115-Moraujo	16	116-Morrinhos	17	117-Mucambo	4
118-Mulungu	4	119-Nova Olinda	13	120-Nova Russas	19
121-Novo Oriente	25	122-Ocara	13	123-Orós	11
124-Pacajus	3	125-Pacatuba	4	126-Pacoti	4
127-Pacujá	5	128-Palhano	9	129-Palmácia	6
130-Paracuru	11	131-Paraipaba	11	132-Parambu	80
133-Paramoti	21	134-Pedra Branca	17	135-Penaforte	3
136-Pentecoste	26	137-Pereiro	7	138-Pindoretama	2
139-Piquet Carneiro	5	140-Pires Ferreira	9	141-Poranga	16
142-Porteiras	5	143-Potengi	4	144-Potiretama	15
145-Quiterionópolis	41	146-Quixadá	39	147-Quixelô	8
148-Quixeramobim	49	149-Quixeré	2	150-Redenção	4
151-Reriutaba	15	152-Russas	26	153-Saboeiro	40
154-Salitre	7	155-Sta. Quitéria	144	156-Stn. do Acaraú	31
157-Stn. do Cariri	9	158-São Benedito	3	159-S.G. Amarante	16
160-S.J.do Jaguaribe	4	161-S.L do Curu	5	162-Sen. Pompeu	15
163-Senador Sá	9	164-Sobral	58	165-Solonópole	26
166-Tabuleiro Norte	6	167-Tamboril	47	168-Tarrafas	19
169-Tauá	85	170-Tejuçuoca	30	171-Tianguá	28
172-Trairi	22	173-Tururu	8	174-Ubajara	14
175-Umari	2	176-Umirim	11	177-Uruburetama	5
178-Uruoca	24	179-Varjota	9	180-Várzea Alegre	18
181-Viçosa Ceará	27	<b>TOTAL GERAL DO ESTADO</b>			3.439

ANEXO C – Mapa da bacia hidrográfica do rio Acaraú com sua rede de drenagem e delimitação do perímetro onde há melhores condições para construção de barragens subterrâneas



## ANEXO D – Resolução CONAMA nº 425, de 25 de março de 2010

**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**  
**CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE- RES Nº 425, DE 25 DE MAIO DE 2010**

**Dispõe sobre critérios para a caracterização de atividades e empreendimentos agropecuários sustentáveis do agricultor familiar, empreendedor rural familiar, e dos povos e comunidades tradicionais como de interesse social para fins de produção, intervenção e recuperação de Áreas de Preservação Permanente e outras de uso limitado.**

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pelos arts. 6o, inciso II, e 8o, incisos I e VII da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981 e, tendo em vista o disposto no art. 1o, § 2o, inciso V, alínea "c", da Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e no seu Regimento Interno, Anexo à Portaria no 168, de 13 de junho de 2005, e o que consta do Processo no 02000.002213/2009-48, resolve:

Art. 1o Esta Resolução define os casos excepcionais de interesse social em que o órgão ambiental competente pode regularizar a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente-APP, ocorridas até 24 de julho de 2006, para empreendimentos agropecuários consolidados dos agricultores familiares e empreendedores familiares rurais.

Art. 2o São considerados de interesse social, com base no art. 1o, § 2o, inciso V, alínea "c" da Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965, as atividades previstas no art. 1o acima que se caracterizem por uma ou mais das seguintes situações:

- I - a manutenção do pastoreio extensivo tradicional nas áreas com cobertura vegetal de campos de altitude, desde que não promova a supressão adicional da vegetação nativa ou a introdução de espécies vegetais exóticas;
- II - a manutenção de culturas com espécies lenhosas ou frutíferas perenes, não sujeitas a cortes rasos sazonais, desde que utilizadas práticas de manejo que garantam a função ambiental da área, em toda extensão das elevações com inclinação superior a 45 graus, inclusive em topo de morro;
- III - as atividades de manejo agroflorestal sustentável, desde que não descaracterizem a cobertura vegetal e não prejudiquem a função ambiental da área; e
- IV - atividades sazonais da agricultura de vazante, tradicionalmente praticadas pelos agricultores familiares, especificamente para o cultivo de lavouras temporárias de ciclo curto, na faixa de terra que fica exposta no período de vazante dos rios ou lagos, desde que não impliquem supressão e conversão de áreas com vegetação nativa, no uso de agroquímicos e práticas culturais que prejudiquem a qualidade da água.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente no procedimento administrativo específico previsto no art. 4o da Lei no 4.771, de 1965, regularizará as atividades realizadas que se enquadrem numa das situações previstas nesta Resolução, reconhecendo seu interesse social.

Art. 3o Para efeitos desta Resolução considera-se agricultor familiar e empreendedor familiar rural, incluindo os assentados de projetos de reforma agrária, aqueles que praticam atividades no meio rural, atendendo ao disposto no art. 3o da Lei no 11.326, de 24 de julho de 2006.

Art. 4o Para os fins do disposto nesta Resolução os interessados deverão apresentar requerimento junto ao órgão ambiental competente contendo:

I - informações básicas:

- a) dados do proprietário ou possuidor do imóvel;
- b) dados do imóvel;
- c) localização simplificada do imóvel;
- d) data da comunicação;
- e) uso atual da área de preservação permanente ou de uso limitado; e
- f) regularidade da reserva legal ou solicitação de averbação.

II - indicação da metodologia de recuperação de áreas de preservação permanente degradadas e daquelas não passíveis de consolidação, em consonância com as normas vigentes.

Art. 5o Em todos os casos previstos nesta Resolução, as atividades autorizadas não poderão comprometer as funções ambientais destes espaços, especialmente:

- I - a estabilidade das encostas e margens dos corpos de água;
- II - os corredores de fauna;
- III - a drenagem e os cursos de água intermitentes;
- IV - a manutenção da biota; e
- V - a qualidade das águas.

Art. 6o Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

IZABELLA TEIXEIRA - Presidente do Conselho

ANEXO E – Minuta de termo de servidão pública adotada pela Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará

## TERMO SERVIDÃO PÚBLICA

Saibam quantos este termo virem, que no dia \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 200 \_\_\_\_, no município de \_\_\_\_\_, Estado do Ceará, o Sr.

\_\_\_\_\_, brasileiro, \_\_\_\_\_, portador da Carteira de Identidade nº \_\_\_\_\_, expedida pela \_\_\_\_\_ e sua mulher

\_\_\_\_\_, brasileira, casada, portadora de Identidade nº \_\_\_\_\_,

expedida pela \_\_\_\_\_, residente e domiciliada

\_\_\_\_\_, no município de \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, casados em comunhão de bens, foi dito que:

- 1) Sendo legítimos proprietários do imóvel denominado \_\_\_\_\_ no município de \_\_\_\_\_, medindo \_\_\_\_ha. Conforme nº de inscrição nº \_\_\_\_\_,
- 2) No móvel acima descrito, permite(m) e concede(m) de livre e espontânea vontade(s) nos termos do Artigo nº 1378 e seguintes do Novo Código Civil Brasileiro, Lei 10.406 de 10 de janeiro de 2002, ao Governo do Estado, através da Secretaria dos Recursos Hídricos, CGC nº 11.821.253/0001-42, neste ato representado pelo (a) Sr. Secretário, para que na aludida área seja construída uma **barragem subterrânea com um poço em anéis de concreto** e que cuja água será utilizada pela coletividade para atendimento de suas necessidades.

Os cessionários, aqui designados, comprometem-se conceder também aos usuários, nos termos do art. 1378 e seguintes do Novo Código Civil Brasileiro, Lei 10.406 de 10 de janeiro de 2002, a Servidão Pública do poço, tão logo a obra especificada seja concluída.

Foi dito pelos cessionários que a presente Servidão Pública, não poderá em qualquer época e a qualquer título, ser requerida e/ou interrompida, devendo a presente Servidão ser respeitada em todos os termos, por si, e pelos seus herdeiros e sucessores, para tanto deve ser providenciado o reconhecimento de firma do presente **TERMO DE SERVIDÃO PÚBLICA**.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2014.

Ass: \_\_\_\_\_ RG: \_\_\_\_\_

Ass: \_\_\_\_\_ RG: \_\_\_\_\_

TESTEMUNHAS:

\_\_\_\_\_

NOME:

NOME  
IDENTIDADE Nº  
CPF Nº

IDENTIDADE Nº  
CPF Nº