



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL
– MESTRADO –**

**SUSTENTABILIDADE HIDROAMBIENTAL DE ÁREAS DE
CAPTAÇÕES DE NASCENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
GRAMAME/PB**

Por

Eudes de Oliveira Bomfim

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para
obtenção do grau de Mestre*



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA E AMBIENTAL
– MESTRADO –

SUSTENTABILIDADE HIDROAMBIENTAL DE ÁREAS DE CAPTAÇÕES DE NASCENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAMAME/PB

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Eudes de Oliveira Bomfim

Orientadora: Dra. Carmem Lúcia Moreira Gadelha

Coorientador: Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira

B695s Bomfim, Eudes de Oliveira.

Sustentabilidade hidroambiental de áreas de captações de nascentes na bacia hidrográfica do Rio Gramame-PB / Eudes de Oliveira Bomfim.- João Pessoa, 2013.

127f. : il.

Orientadora: Carmem Lúcia Moreira Gadelha

EUDES DE OLIVEIRA BOMFIM

**SUSTENTABILIDADE HIDROAMBIENTAL DE ÁREAS DE
CAPTAÇÕES DE NASCENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
GRAMAME/PB**

Dissertação aprovada em 25 de março de 2013, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana e Ambiental, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Carmem Lúcia Moreira Gadelha – UFPB
Orientadora

Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira – UFPB
Coorientador

Dr. Cristiano das Neves Almeida – UFPB
Examinador Interno

Dr. José Wellington Carvalho Vilar – IF Sergipe
Examinador Externo

À
Esmeralda Salomé dos Santos Oliveira (*in
memoriam*) pela força de viver e dedicação aos
filhos e netos. Por ter me ensinado os
primeiros passos e por ter profetizado que eu
seria o “doutor” da família. Estou caminhando
para fazer valer a profecia.

Quem me leva os meus fantasmas
(Pedro Abrunhosa)

Aquele era o tempo
em que as mãos se fechavam
e nas noites brilhantes as palavras voavam,
e eu via que o céu me nascia dos dedos
e a Ursa Maior eram ferros acesos.
Marinheiros perdidos em portos distantes,
em bares escondidos,
em sonhos gigantes.
E a cidade vazia,
da cor do asfalto,
e alguém me pedia que cantasse mais alto.

Quem me leva os meus fantasmas?
Quem me salva desta espada?
Quem me diz onde é a estrada?

Aquele era o tempo
em que as sombras se abriam,
em que homens negavam
O que outros erguiam.
E eu bebia da vida em goles pequenos,
tropeçava no riso, abraçava venenos.
de costas voltadas não se vê o futuro
nem o rumo da bala
nem a falha no muro.
E alguém me gritava
com voz de profeta
que o caminho se faz
entre o alvo e a seta.

De que serve ter o mapa
se o fim está traçado?
de que serve a terra à vista
se o barco está parado?
de que serve ter a chave
se a porta está aberta?
de que servem as palavras
se a casa está deserta?

AGRADECIMENTOS

Ao Criador do Universo, razão da minha existência. Obrigado pelo direito à vida e por ter me direcionado sempre pelo caminho do bem. Por ter colocado as pessoas certas ao meu redor. Pela materialização deste sonho e por ele ter se concretizado exatamente do jeito que foi. Agradeço a toda força da natureza que acredito, por tudo que eu trago e que é do bem, por tudo que vem de Ti e por minha vida ter sido abençoada com tantas vitórias e alegrias.

A minha mãe, Anasilde Santos de Oliveira, mulher de “poucas letras” e, que nem por isto, deixou de me apoiar para que eu alcançasse mais esta conquista. Acompanhou e esteve presente comigo todos os dias desde que saí de Aracaju para João Pessoa. Saiba que eu tive dias difíceis, mas valeu e valerá a pena. Obrigado por ser minha mãe!

A minha Orientadora, Dra. Carmem Lúcia Moreira Gadelha, por toda paciência, gentileza, sabedoria e amizade. Obrigado por conduzir a orientação desta pesquisa e por ter contribuído para que eu conseguisse “viajar” nos ensinamentos da Engenharia Ambiental.

Ao meu Coorientador, Dr. Hamilcar José Almeida Filgueira, por ter proposto este estudo e por disponibilizar os dados do projeto “Recuperação das Nascentes do rio Gramame”, imprescindíveis para a realização deste trabalho. Obrigado pelos ensinamentos e por todos os conselhos.

Aos Professores do PPGEUA, Dr. Cristiano das Neves Almeida, Dr. Tarciso Cabral da Silva, Dra. Cláudia Nobrega Coutinho, Dr. Adriano Rolim da Paz, Dr. Celso Augusto Guimarães Santos, Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior, Dr. Rennio Felix Sena, Dr. Joácio de Araújo Moraes Júnior e Dr. Nelson Caicedo por todas as discussões e esclarecimentos em sala de aula e fora dela também. Muito obrigado!

Ao Governo do Estado de Sergipe, representado pelo Secretário de Estado de Recursos Hídricos e Meio Ambiente de Sergipe, Genival Nunes Silva, pela amizade e por ter me dito um dia: “Eudes, não frustrar seus sonhos!” Aqui estou caminhando para concretizar um sonho que carrego em mim faz tempo. Obrigado “Companheiro”. Sem a sua ajuda, muita coisa não aconteceria na minha vida profissional e acadêmica. Que Deus te guarde sempre!!!

À Dra. Jenny Dantas Barbosa, pelos ensinamentos e carões (e foram muitos!!!) quando teimava em seguir outra trilha na vida. Pelos incentivos em todas as ordens, por ser mais que uma professora para mim: uma tia-mãe-amiga que levarei pela eternidade da minha existência. Obrigado Tia Jenny, a senhora estava certa!

À professora Ivanete Carvalho Rocha, pela contribuição especial, pois foste a primeira a me encaminhar na seara da construção do conhecimento. Acreditou e guiou genuinamente meu barco com essenciais conselhos de vida. Obrigado!

À irmã de muitas confissões e conselhos, Maria José dos Santos, foi contigo que aprendi qual o verdadeiro sentido de se fazer uma pós-graduação. Pesquisas de campo, muitas viagens pelo interior sergipano, culturas diferentes eu conheci ao seu lado, além das muitas noites em claro diagramando seus trabalhos ao som do que há de melhor da nossa MPB. Obrigado por acreditar em mim!

A minha irmã, Roberta de Oliveira Bomfim, por todo apoio quando precisei ingressar no caminho da academia. Aos meus sobrinhos Ana Carolina e Jorge Vinícius, e meu “filhão” Haziél Fontes, por me apresentarem uma vida mais alegre.

À Família *Roberts*, da qual faço parte e com a qual tive o prazer de conhecer, conviver e compreender muito bem o sentido do bem viver. Cada um de vocês me ensinou muito. São quarenta e sete irmãos do coração que Deus me deu e aos meus pais do coração, Etani Souza Fontes e José Roberto de Souza, com os quais aprendi que a vida é para se viver e ser feliz! Obrigado por todos os puxões de orelha!

Ao Professor Dr. José Wellington Carvalho Vilar pelos conselhos, amizade, paciência quando eu fui seu orientando na graduação pelo Instituto Federal de Sergipe (IFS) e, quando mais precisei enquanto escrevia esta pesquisa: um verdadeiro “guru”! Obrigado por todas as nossas conversas!

Aos Professores do Instituto Federal de Sergipe Ana Patrícia Barretto Casado, Cláudio Roberto Braghini, Jorge Luís Sotero, Marcos Luciano Barroso, Ivonaldo, Aline Lima Alves por todo conhecimento transmitido.

À Administração Estadual de Meio Ambiente de Sergipe, local onde fiz meu estágio. Obrigado à Dra. Marly Menezes Santos, Usiel Rios, Dirceu Benjamim, Regina Torres, Ana Consuelo, Carlos Augusto Leão Ferreira, Daniela Figueiredo, Katiene Bacelar, Haiane, Ubirajara Xavier, a todo pessoal que direta e indiretamente apoiou meus estudos.

A Wallace Batista dos Santos por todo apoio e ensinamentos de vida.

Aos Agentes de Segurança de Medidas Socioeducativas do Estado de Sergipe, Sivaldo, “Jotabê”, Marcos Venícius, Gilvan Ferreira, Tarciso Eder, Joãozinho Popular e Bruno Fabrício, bravos homens, sobreviventes de um sistema complexo do qual também faço parte. Obrigado por toda compreensão.

A Andrey Barbosa Dantas Souza pela paciência e sugestões quando da elaboração da planilha final para determinação do índice de sustentabilidade de cada nascente estudada.

Aos Amigos Luís Henrique de Sousa da Silva e Jonisson Josenildo Alves Galvão Júnior que dividiram apartamento comigo durante minha estada em João Pessoa. Vocês foram especiais e necessários nesta minha trajetória!

Aos Técnicos do Laboratório de Saneamento da UFPB que auxiliaram nas análises de qualidade da água das nascentes estudadas: José Dorivaldo Florêncio de Oliveira, Romildo Henriques dos Anjos e Elson Santos da Silva. Obrigado por todo conhecimento transmitido.

À imprescindível ajuda dos bolsistas de PIBIC e Jovens Talentos, Jamille Amorim e Diego Amorim. Vocês foram minhas mãos direita e esquerda!

Aos amigos/irmãos que me apoiaram para que eu concluísse este mestrado, Vislaine Ferraz dos Santos Beato e Giovanni Beato, que mesmo longe do Brasil, estavam “plugados” a mim.

Aos meus parentes do Recôncavo Baiano, povo lindo, alegre e de uma malemolência incontestável, aqui representados por tios e primos: Iaci, Henrique, Carla, Mileide, Aline, Zé, Davi, Patrício, Renata, Ana, Mônica, Leonardo Thierry, Ítalo, Anderson, Manuela enfim, a família é enorme... Estes sempre conectados via Internet ou celular, dando “aquele” apoio. Saibam que vocês fizeram muita falta no meu dia-a-dia.

Foram tantas boas amizades que fiz na UFPB que destacarei algumas que vivenciamos minha luta diária até a concretização desta pesquisa: Franklin, Everton, Alexandre, Érica, Adriana, Elisângela, Cleyton, Marília, Henrique, Evelyne, Diego Targino, Edilson, Marcela, Amanda, Jaqueline, Ícaro, Marcelo, Lucila, Rose, Samara, Mariana Moreira, Luís Romero, Nicholas, Emanuela Falcão, Erivone, Andréa Karla... e por aí vai... o LARHENA, obrigado!

A Amanda Castro pelas preciosas contribuições na revisão gramatical deste trabalho.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental por todos os esclarecimentos quando precisei. Agradeço também as Secretárias do Programa, Dona Marluce e Mirian. Obrigado!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes) pela bolsa de estudos, muito útil e importante para o desfecho deste estudo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Ciclo hidrológico.....	22
Figura 3.1	Localização da bacia hidrográfica do rio Gramame.....	40
Figura 3.2	Bacia hidrográfica do rio Gramame: localização da área do estudo.	41
Figura 3.3	Localização das nascentes no alto curso da bacia hidrográfica do rio Gramame/PB.....	42
Figura 3.4	Bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba.....	43
Figura 3.5	Estratigrafia da bacia sedimentar Paraíba.....	44
Figura 3.6	Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Gramame.....	45
Figura 3.7	Curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Gramame.....	46
Figura 3.8	Município de Pedras de Fogo/PB: divisão por setores censitários....	48
Figura 4.1	Nascente Cabelão.....	57
Figura 4.2	Construção de anel viário e a degradação ambiental da nascente Cabelão.....	58
Figura 4.3	Nascente Cacimba da Rosa.....	59
Figura 4.4	Casa de farinha (à esquerda) e via de descarte da manipueira em direção à nascente Cacimba da Rosa (à direita).....	60
Figura 4.5	Construção do anel viário a jusante de nascente Cacimba da Rosa..	60
Figura 4.6	Nascente Nova Aurora.....	61
Figura 4.7	Assentamento Comunidade Nova Aurora e a área de abrangência da nascente.....	62
Figura 4.8	Nascente Fazendinha.....	63
Figura 4.9	Assentamento Comunidade Fazendinha e a área de abrangência da nascente.....	64
Figura 4.10	Pedras de Fogo/PB: mapa de uso do solo.....	87
Figura 4.11	Mapa de Risco de Contaminação da Bacia Hidrográfica do rio Gramame, por meio do DRASTIC e DRASTIC Modificado.....	88

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1	Densidade domiciliar por setor censitário.....	67
Gráfico 4.2	Distribuição de habitantes alfabetizados por população residente nos setores censitários.....	68
Gráfico 4.3	Incidência de diarreias agudas por área de influência da nascente.....	69
Gráfico 4.4	Desempenho dos indicadores de sustentabilidade da dimensão social (IDS).....	71
Gráfico 4.5	Índice final de sustentabilidade social das áreas de estudo.....	73
Gráfico 4.6	Desempenho dos indicadores de sustentabilidade da dimensão econômica (IDE).....	77
Gráfico 4.7	Índice final de sustentabilidade econômica das áreas de estudo.....	78
Gráfico 4.8	Precipitações na BHRG – Período de 2010-2012.....	81
Gráfico 4.9	Comportamento dos parâmetros físico-químicos da água das nascentes (2010-2012).....	83
Gráfico 4.10	Distribuição do tipo de abastecimento de água.....	90
Gráfico 4.11	Destino dos efluentes sanitários.....	91
Gráfico 4.12	Destino dos resíduos sólidos.....	91
Gráfico 4.13	Desempenho dos indicadores de sustentabilidade da dimensão ambiental (IDA).....	97
Gráfico 4.14	Índice final de sustentabilidade econômica das áreas de estudo.....	98
Gráfico 4.15	Desempenho dos indicadores de sustentabilidade da dimensão institucional (IDI).....	102
Gráfico 4.16	Dimensões da sustentabilidade das áreas de captações de nascentes do rio Gramame.....	104
Gráfico 4.17	Nível de sustentabilidade hidroambiental das áreas de captações de nascentes do rio Gramame.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Classificação ou magnitude de nascentes conforme a vazão.....	23
Tabela 3.1	Área e identificação dos setores censitários da pesquisa.....	49
Tabela 3.2	Corolário da sustentabilidade.....	55
Tabela 4.1	Índices da dimensão social das áreas circunvizinhas às nascentes.....	65
Tabela 4.2	Nascentes por setor censitário e a densidade demográfica.....	66
Tabela 4.3	Distribuição de alfabetizados por gênero e setor censitário.....	68
Tabela 4.4	Áreas dos triângulos e índices finais da sustentabilidade social.....	72
Tabela 4.5	Índices da dimensão econômica das áreas circunvizinhas às nascentes.	73
Tabela 4.6	Renda per capita por setor censitário e por família.....	74
Tabela 4.7	Área dos triângulos e Índices finais da sustentabilidade econômica.....	78
Tabela 4.8	Índices da dimensão ambiental das áreas circunvizinhas às nascentes.	79
Tabela 4.9	Valores médios das medições de vazão das nascentes (2010-2012).....	80
Tabela 4.10	Comportamento das precipitações na bacia hidrográfica do rio Gramame (2010-2012).....	81
Tabela 4.11	Resultados das análises microbiológicas, determinação de coliformes termotolerantes na água das nascentes (2010-2011).....	89
Tabela 4.12	Área dos triângulos e índices finais da sustentabilidade ambiental.....	98
Tabela 4.13	Índices da dimensão institucional das áreas circunvizinhas às nascentes.....	99
Tabela 4.14	Índices finais da sustentabilidade institucional das áreas circunvizinhas às nascentes.....	103

LISTAS DE QUADROS

Quadro 2.1	Nascentes: principais definições.....	21
Quadro 2.2	Ferramentas metodológicas de determinação da sustentabilidade seus escopos e esferas de atuação.....	32
Quadro 2.3	As cinco dimensões do desenvolvimento sustentável.....	33
Quadro 3.1	Metodologia analítica adotada nas determinações dos parâmetros físico-químicos das águas das nascentes.....	50
Quadro 3.2	Composição do sistema de indicadores para avaliação da sustentabilidade hidroambiental de áreas circunvizinhas às captações de nascentes do rio Gramame/PB.....	51
Quadro 4.1	Espécies florestais presentes em torno da nascente Cabelão.....	93
Quadro 4.2	Espécies florestais presentes em torno da nascente Cacimba da Rosa...	93
Quadro 4.3	Espécies florestais presentes em torno da nascente Nova Aurora.....	94
Quadro 4.4	Espécies florestais presentes em torno da nascente Fazendinha.....	95
Quadro 4.5	Indicadores e subindicadores que impulsionaram a sustentabilidade da área da nascente Nova Aurora.....	103

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	Bacias Hidrográficas como Unidade de Planejamento e Gestão.....	20
2.2	As Nascentes de Rios.....	21
2.2.1	Degradação e recuperação de nascentes.....	23
2.2.2	Estudos de caso sobre degradação de áreas de nascentes.....	25
2.3	Sustentabilidade Ambiental: dos Indicadores aos Índices.....	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1	Área de Estudo: Alto Curso do Rio Gramame.....	40
3.1.1	Condicionantes físicos.....	42
3.2	Diagnóstico Ambiental.....	46
3.3	Cálculo do Índice de Sustentabilidade Ambiental.....	51
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	57
4.1	O Estudo Ambiental.....	57
4.2	Determinação e Análise dos Índices e Indicadores por Dimensão.....	64
4.2.1	Índice de sustentabilidade social (ISS).....	65
4.2.2	Índice de sustentabilidade econômica (ISE).....	73
4.2.3	Índice de sustentabilidade ambiental (ISA).....	79
4.2.4	Índice de sustentabilidade institucional (ISI).....	99
4.3	Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISH).....	105
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
	REFERÊNCIAS.....	110
	APÊNDICES.....	118

RESUMO

Este estudo objetivou determinar o nível da sustentabilidade hidroambiental de áreas circunvizinhas às captações de nascentes situadas na bacia hidrográfica do rio Gramame, município de Pedras de Fogo/PB. Para tanto, foi necessário elaborar o diagnóstico ambiental da área de estudo (entorno das nascentes); apresentar um sistema de avaliação da sustentabilidade para essas áreas de captações; determinar o índice e analisar a sustentabilidade hidroambiental das áreas pesquisadas. Foram escolhidas quatro nascentes para o desenvolvimento desta pesquisa: Cacimba da Rosa e Cabelão, na zona periurbana; Nova Aurora e Fazendinha, na zona rural. A metodologia utilizada para obtenção do índice de sustentabilidade foi baseada nos trabalhos de Calório (1997) e Daniel (2000). Utilizou-se o gráfico tipo radar, pelo qual foi possível comparar de forma dinâmica todas as variáveis pesquisadas. Assim, considerou-se quanto maior a área do triângulo formado no gráfico, maior a sustentabilidade do indicador. A base de dados foi composta por pesquisas de campo, análises experimentais, informações do projeto Restauração de nascentes do rio Gramame/PB, executado pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), além dos dados disponibilizados por setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Diante disso, elaborou-se um quadro de indicadores para avaliação da sustentabilidade hidroambiental das áreas estudadas. Compõem esse quadro vinte indicadores, distribuídos em quatro dimensões: social, econômica, ambiental e institucional. Foram atribuídos pesos de 0 a 1 aos resultados obtidos para cada indicador. Esse sistema de tratamento de dados foi desenvolvido através de uma planilha eletrônica capaz de receber os dados e processá-los automaticamente, convertendo-os em índices. Os índices finais revelaram que a área em torno da nascente Nova Aurora obteve os melhores desempenhos de seus indicadores. A metodologia aplicada neste estudo se destacou tanto pela facilidade de uso, quanto pela clareza na representação dos resultados e pela mensuração da condição de sustentabilidade das áreas. O sistema de indicadores utilizado neste estudo deve embasar as tomadas de decisões para melhorar a sustentabilidade hidroambiental das nascentes e ser reaplicado para acompanhamento do desempenho dos indicadores e seus índices.

Palavras-chave: Sustentabilidade hidroambiental. Nascentes. Bacia hidrográfica.

ABSTRACT

This study has aimed to determine the hydro-environmental sustainability areas's level surrounding the springs located in the Gramame basin river, Pedras de Fogo/PB. Therefore, it was necessary to develop an environmental diagnosis of the study area (around the springs); present a system of sustainability assessment for those catchment areas; determine the springs' sustainability index and analyze the hydro-environmental sustainability of the areas surveyed. Four springs were chosen for the development of this research: Cacimba da Rosa e Cabelão, in the intermediate zone between urban and rural; Nova Aurora e Fazendinha, in the countryside. The methodology used to obtain the sustainability index was based on the work of the Calorie (1997) and Daniel (2000). It was used the radar chart type, by which it was possible to dynamically compare all variables. Thus, it was considered that the larger of the area in the triangle formed on the chart, greater is the indicator sustainability. The database was composed of field research, experimental analyzes, information from the springs' Restoration project of the river Gramame/PB, run by the Federal University of Paraíba (UFPB), in addition to census data released by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). Therefore, it was elaborated a framework of indicators to assess the hydro-environmental sustainability of the areas studied. Comprise this framework twenty indicators, divided into four dimensions: social, economic, environmental and institutional. Weights were assigned 0-1 for the results obtained for each indicator. This treatment system was developed using data from a spreadsheet able to receive the data and process them automatically, converting them into indices. The final indices revealed that the area around the Nova Aurora spring got the best performances of their indicators. The methodology applied in this study stood out both for the ease of use, as the clarity in the representation of the results by measuring the condition and sustainability areas. The system of indicators used in this study should contribute to support the decision-making to improve the hydro-environmental sustainability of the springs and be reapplied to monitor the indicators performance and their indices.

Keywords: Hydro-environmental sustainability. Springs. River basin.

INTRODUÇÃO

“Só sentirás falta da tua água
quando o poço secar.”
(Bob Marley)

1 INTRODUÇÃO

O Relatório de Desenvolvimento Humano elaborado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento destacou que, nas últimas décadas, em diversas partes do mundo, consideráveis reservas de água doce estão sendo degradadas (PNUD, 2006). O desmatamento, a retirada de matas ciliares, a prática da agricultura irrigada com uso de agrotóxico e a pecuária sem apoio técnico, aliados à expansão da zona urbana, aos resíduos domésticos e industriais lançados de forma inadequada no meio ambiente são as principais causas de alterações na quantidade e na qualidade dos recursos hídricos disponíveis nas bacias hidrográficas.

Assim, enfrentando um imenso espectro de crescente escassez de suprimento de água de qualidade satisfatória e em quantidade adequada, os planejadores sociais e tomadores de decisão buscam estratégias para a gestão sustentável dos recursos hídricos centralizadas, especialmente no uso da água para o consumo humano, de modo a não provocar problemas de disponibilidade para as futuras gerações. Por esse motivo, a questão de sustentabilidade começa com trabalhos de campo que visam à recuperação e preservação das áreas de afloramentos do lençol freático, também chamadas de nascentes, que dão origem aos mananciais que abastecem as zonas urbanas e rurais.

De acordo com Lima (1996), a preservação de nascentes está relacionada com o manejo da bacia hidrográfica, visto que existe uma inter-relação entre o uso da terra, o solo e a água. Para Calheiros *et al.* (2004), o manejo de bacias hidrográficas deve contemplar a preservação e melhoria da água quanto à quantidade e qualidade, além de seus interferentes em uma unidade geomorfológica da paisagem como forma mais adequada de manipulação sistêmica dos recursos de uma região.

Segundo Vieira (1996), alguns princípios básicos dos sistemas integrados de gestão hídrica foram identificados, entre eles podem ser destacados: a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão; a água como bem natural limitado, essencial à vida e, portanto, de valor econômico; a indissociabilidade dos aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos.

No estado da Paraíba a bacia hidrográfica do rio Gramame tem importância fundamental por ser responsável por cerca de 70% do abastecimento de água da Grande João Pessoa, compreendendo as cidades de João Pessoa (capital do Estado), Cabedelo, Bayeux e parte de Santa Rita, além de abastecer os municípios de Pedras de Fogo e Conde, cujas sedes

estão inseridas no espaço da bacia hidrográfica, e várias comunidades ribeirinhas. Nessa bacia, a alteração do regime de fluxo da água devido ao uso crescente e sem controle do solo para a agricultura é identificada como uma das principais causas da degradação ambiental (COELHO, 2011; LINHARES, 2012).

A bacia hidrográfica do rio Gramame apresenta uma série de conflitos sendo os que envolvem a disponibilidade de água para a irrigação e o abastecimento humano os mais notáveis. Registram-se, também, conflitos entre a atividade de pesca e a industrial por causa da qualidade da água. Tudo isso ocorre porque essa bacia hidrográfica atende a demanda de múltiplos usos de água, como agricultura irrigada, indústria, lazer, piscicultura, dessedentação de animais e abastecimento público (PARAÍBA, 2000). Além do mais, de acordo com Coelho (2011), cerca de 50% da área da bacia é ocupada por culturas da cana-de-açúcar e abacaxi onde são aplicados, inadequados ou indiscriminadamente, fertilizantes sintéticos e agrotóxicos (inseticidas, fungicidas e herbicidas) nas proximidades de nascentes. Dessa forma, nascentes de importantes rios, como o Gramame, estão em estado de degradação crescente pela ação antrópica.

Diante desse cenário, e considerando a importância das nascentes na formação de rios, este estudo tem como objetivo principal determinar o nível de sustentabilidade hidroambiental nas áreas circunvizinhas às captações das nascentes Cacimba da Rosa, Cabelão, Nova Aurora e Fazendinha na bacia hidrográfica do rio Gramame, no município de Pedras de Fogo/PB.

Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Elaborar o diagnóstico ambiental da área de estudo (entorno das nascentes);
- ✓ Apresentar um sistema de avaliação da sustentabilidade hidroambiental para as áreas de captações das nascentes;
- ✓ Determinar o índice de sustentabilidade hidroambiental das nascentes estudadas;
- ✓ Analisar a sustentabilidade hidroambiental das áreas pesquisadas.

Esta dissertação encontra-se estruturada em cinco partes. Na primeira contextualiza-se a temática abordada, como também se estabelecem os objetivos que nortearam este estudo.

Na segunda parte discorre-se sobre os fundamentos teóricos onde é apresentada uma revisão da literatura sobre as bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão, as nascentes e suas características principais, além de revisitar os cenários nacional e internacional sobre a degradação e recuperação de nascentes.

Nos materiais e métodos são apresentadas as características fisiográficas da área de estudo. Trata-se ainda nesta parte acerca da tipologia da pesquisa, coleta de dados, tratamento e forma de análise dos resultados. Também se descreve o passo-a-passo que visou tornar mais bem compreensíveis os meandros da formulação e escolha de indicadores, para compor o sistema de avaliação de sustentabilidade hidroambiental, com a representação numérica de índices, principal abordagem desta dissertação.

Na quarta parte é apresentada a análise do diagnóstico ambiental e os resultados obtidos na determinação dos padrões físico-químicos e bacteriológicos da água das nascentes e a quantificação da produção de água, seguido da discussão sobre o índice final de sustentabilidade hidroambiental das áreas circunvizinhas às nascentes Cacimba da Rosa, Cabelão, Nova Aurora e Fazendinha.

Na quinta e última parte encontram-se as considerações e sugestões do estudo, com base nos resultados e discussões obtidos.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Eu e Água (Caetano Veloso)

A água arrepiada pelo vento,
A água e seu cochicho,
A água e seu rugido,
A água e seu silêncio.

A água me contou muitos segredos,
Guardou os meus segredos,
Refez os meus desenhos,
Trouxe e levou meus medos.

A grande mãe me viu num quarto cheio
d'água,
Num enorme quarto lindo e cheio d'água,
E eu nunca me afogava.

O mar total e eu dentro do eterno ventre,
E a voz do meu pai, voz de muitas águas,
Depois o rio passa.
Eu e água, eu e água,
Eu.

Cachoeira, lago, onda, gota,
Chuva miúda, fonte, neve, mar.
A vida que me é dada,
Eu e água.

Água,
Lava as mazelas do mundo
E lava a minha alma.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Bacias Hidrográficas como Unidade de Planejamento e Gestão

No Brasil, o uso da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão foi institucionalizado a partir da promulgação da Lei Federal nº 9.433/1997, que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Contudo, já a partir dos anos 80, pesquisadores como Christofolletti (1980), adotavam nos seus estudos a bacia hidrográfica como tal, pois observavam que os acontecimentos que ocorriam na área de drenagem repercutiam, direta ou indiretamente, nos rios.

De acordo com Santos (2004), o conceito de bacia hidrográfica está associado à noção de sistema, nascentes, divisor de águas, cursos de águas hierarquizados e foz. Assim, os fenômenos ocorridos dentro de uma bacia, sejam eles de origem natural ou antrópica, interferem na dinâmica do sistema, na quantidade e qualidade dos cursos de água. As medidas de algumas de suas variáveis (solo, clima, vegetação, relevo, entre outros) permitem compreender a soma desses fenômenos. Esse é um dos aspectos que levam os planejadores a escolher a bacia hidrográfica como uma unidade de gestão, bem como, por ser um sistema natural bem delimitado no espaço, onde as interações físicas são integradas e, portanto, mais fáceis de serem compreendidas, especializadas e caracterizadas, acrescenta a autora referenciada.

Para Vilaça *et al.* (2009), a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento é o princípio básico que avança na gestão dos recursos hídricos, pois diante dos limites da área a ser planejada fica mais fácil fazer o confronto entre as disponibilidades e as demandas, essencial para o estabelecimento do seu planejamento e gestão.

Na visão de Souza *et al.* (2009), o planejamento e a gestão dos recursos hídricos têm a finalidade de servir como guia para a implementação de políticas de controle e definição de prioridades na resolução de problemas. Também visa garantir a quantidade e a qualidade da água. Já Vilaça *et al.* (2009) vão mais além ao afirmar que o planejamento e o gerenciamento integrado de bacias hidrográficas deve proporcionar uma visão abrangente do território incluindo políticas públicas, tecnológicas e de educação, com o intuito de promover um processo de longo prazo com participação de usuários, de autoridades, do público em geral e também das organizações e instituições públicas e privadas.

Segundo Carmo e Diego (2010), usando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, devem-se considerar duas fases: a primeira de implementação que segue o plano de objetivos, as opções e o zoneamento em larga escala das prioridades no uso integrado do solo, agricultura, pesca, conservação, recreação e usos domésticos e industriais da água; na segunda fase deve-se seguir a interpretação, que se destaca pela capacidade de gerenciar conflitos resultantes dos usos múltiplos e a interpretação de informações existentes de forma a possibilitar a montagem de cenários de longo prazo, incorporando uma perspectiva de desenvolvimento sustentável.

Nesse contexto, o planejamento ambiental em bacias hidrográficas atua no sentido de minimizar os impactos negativos das ações antrópicas, estabelecendo relações entre as atividades da sociedade e o meio ambiente, mantendo a integridade desses elementos (OLIVEIRA, 2009). Assim, fazem parte também do arcabouço de conhecimentos associados à gestão ambiental técnicas para a recuperação de áreas degradadas e nascentes de rios, técnicas de reflorestamento, métodos para a exploração sustentável de recursos naturais, e o estudo de riscos e impactos ambientais para a avaliação de novos empreendimentos ou ampliação de atividades produtivas (REIS JÚNIOR, 2009 apud OLIVEIRA, 2009).

2.2 As Nascentes de Rios

O entendimento do fenômeno da ocorrência de nascentes de rios envolve conhecimentos das áreas de geologia, geomorfologia, hidrologia, solos e vegetação. Por isso, existem diversas definições para elas. Algumas consideram como do tipo pontual, distribuídas ou difusas, outras apresentam um enfoque puramente hidrológico. O Quadro 2.1 apresenta as principais definições encontradas na literatura.

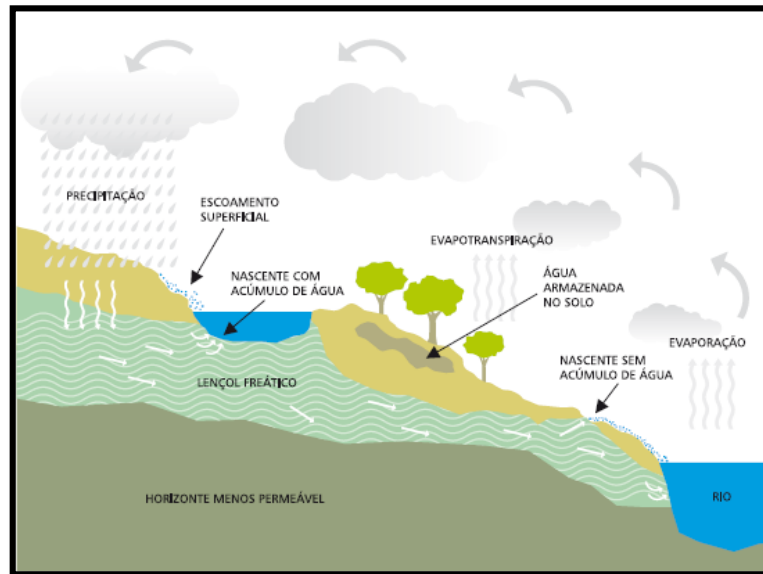
Quadro 2.1 Nascentes: principais definições

AUTOR	DEFINIÇÃO
Davis (1966)	Qualquer descarga superficial natural de água grande o suficiente para formar pequenos córregos.
Daker (1983)	Afloramentos ou manifestações do lençol na superfície do solo, especialmente em uma encosta ou depressão do terreno.
Resolução CONAMA nº 303/2002	Local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea.
Valente e Gomes (2005)	Manifestações superficiais de lençóis subterrâneos dando origem a cursos d'água.
Roma (2008)	Conhecidas como minas d'água, olhos d'água, cabeceiras e fontes, são os pontos na superfície do terreno de onde escoam a água de lençóis subterrâneos.
Felippe <i>et al.</i> (2009)	É um sistema ambiental natural marcado por uma feição geomorfológica ou estrutura geológica em que ocorre a exfiltração da água subterrânea de forma perene ou intermitente, formando canais de drenagem a jusante que a inserem na rede de drenagem da bacia.

Fonte: Cabral da Silva *et al.* (2011).

À luz desses conceitos pode-se afirmar que os fluxos de base que sustentam as nascentes, provenientes do ciclo hidrológico (Figura 2.1) e, conseqüentemente, dos lençóis subterrâneos têm grande importância não só temporal, mas também espacial, pois, são capazes de possibilitar que todos os usuários de água da bacia hidrográfica, inclusive os das cabeceiras, tenham água nos meses mais secos do ano (VALENTE; GOMES, 2005).

Figura 2.1 Ciclo hidrológico



Fonte: Calheiros *et al.*, 2004.

Castro (2007) classifica as nascentes tanto pelo regime de água, quanto pelo tipo de reservatório a que estão associadas. Quanto ao regime de águas são: perenes, quando apresentam fluxo de água contínuo, inclusive na estação seca; temporárias quando apresentam fluxo durante a estação chuvosa; e efêmeras quando surgem durante um período chuvoso, permanecendo durante alguns dias e desaparecendo logo em seguida. Quanto ao tipo de reservatório os lençóis freáticos dão origem às nascentes de encosta e às difusas. A nascente de encosta ou pontual ocorre devido à inclinação da camada impermeável ser menor que a da encosta, ocasionando o encontro delas em um determinado ponto do terreno, que constitui a nascente ou olho d'água. A nascente difusa é formada quando a camada impermeável do solo situa-se paralela à parte mais baixa e plana do terreno e, devido à proximidade com a superfície, o fluxo d'água resulta do aumento no nível do lençol freático, fazendo com que este nível atinja à superfície do solo. Isto provoca o encharcamento do solo, originando o surgimento de um grande número de pequenas nascentes por toda a área.

Dessa forma, entende-se que no manejo de bacias hidrográficas a preservação e recuperação da vegetação ciliar nas áreas de nascentes, nas margens de cursos d'água e nas regiões de recarga dos aquíferos são ações primordiais para a produção de água. Observa-se, por meio da Tabela 2.1 a seguir, a classificação ou magnitude de nascentes conforme a vazão.

Tabela 2.1 Classificação ou magnitude de nascentes conforme a vazão

Classe ou Magnitude	Vazão (L/min)
1	> 170.000
2	17.000 – 170.000
3	1.700 – 17.000
4	380 – 1.700
5	38 – 380
6	4 – 38
7	0,6 – 4
8	< 0,6

Fonte: Meizer (1975, apud GOMES; VALENTE, 2005).

A vazão de um curso d'água é definida por Christofolletti (1981) como a quantidade de água que flui por uma seção transversal do canal por unidade de tempo. O autor explica ainda que ocorrem alterações na vazão em função de eventuais perdas e ganhos de água pelo sistema fluvial ao longo do perfil longitudinal dos rios. Dessa maneira, a água que segue no exutório de uma bacia hidrográfica é uma resultante complexa da vazão das nascentes associadas às perdas por infiltração e evaporação, além dos ganhos por exfiltração e pluviosidade. Assim, a degradação e o uso inadequado de bacias hidrográficas podem acarretar sérios problemas ambientais. Conforme Castro (2007) a vazão de uma nascente pode, pelo mau uso, ser reduzida ao longo do tempo.

2.2.1 Degradação e recuperação de nascentes

A supressão da vegetação, as atividades agropecuárias e o uso inadequado do solo são causas do processo de degradação de nascentes e corpos hídricos, fatores que interferem na qualidade e quantidade da água produzida numa bacia hidrográfica. Nesse contexto, são exemplos de fatores causadores da degradação ambiental, relacionados à agricultura: a inaptidão do ambiente, a compactação e o preparo impróprio do solo, a monocultura, a irrigação inadequada, o superpastejo e a cobertura de solo insuficiente (KOBİYAMA *et al.*, 2008).

As queimadas também causam sérios danos às florestas e outros tipos de vegetação. Segundo Castro (2007), as principais consequências são refletidas nos solos, como a destruição de matéria orgânica das camadas superficiais e a eliminação dos microrganismos

decompositores. Além disso, o superpastejo de bovinos também deve ser levado em consideração, já que pode resultar na compactação da camada do solo, comprometendo o processo de infiltração de água da chuva no terreno (DAVIDE *et al.*, 2000). Destacam-se ainda que todas as atividades desenvolvidas no entorno de nascentes infringem a legislação ambiental prevista no Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2012), pois essas áreas são consideradas como de preservação permanentes (APPs).

De maneira geral, ao analisar o panorama atual de nascentes, Castro e Gomes (2001) verificaram:

- ✓ a redução do número de nascentes em uma mesma bacia hidrográfica;
- ✓ a vazão que brota de cada nascente está diminuindo ao longo do tempo;
- ✓ o aterramento de nascentes como também a contaminação por defensivos agrícolas;
- ✓ “deslocamento” de nascentes para partes mais baixas.

Quanto ao estado das nascentes, Pinto *et al.* (2004) classificam-nas em três categorias: preservadas, perturbadas e degradadas.

- ✓ Preservadas: quando apresentaram pelo menos 50 metros de vegetação natural no seu entorno, medidas a partir do olho d’água em nascentes pontuais ou a partir do olho d’água principal em nascentes difusas;
- ✓ Perturbadas: quando não apresentaram 50 metros de vegetação natural no seu entorno, mas com bom estado de conservação;
- ✓ Degradadas: quando apresentaram um alto grau de perturbação, muito pouco vegetada, solo compactado, presença de gado, com erosões, assoreamento e voçorocas.

Esse cenário é agravado devido às formas de degradação visíveis no meio ambiente, tais como: corte intensivo das florestas nativas, queimadas, pastoreio intensivo, planejamento inadequado na construção de estradas, loteamentos em locais impróprios, reflorestamento sem planejamento, bem como pelas diversas fontes de contaminação que comprometem à qualidade das fontes de água límpidas.

Segundo Silva (2002) esses fatores comprometem à qualidade da água além de causarem uma série de alterações ao longo do rio. Para Tundisi (2003), as ações do homem

que interferem nos ciclos naturais e na disponibilidade de água de boa qualidade têm comprometido à sustentabilidade dos recursos hídricos.

Assim, toda ocorrência de eventos em uma bacia hidrográfica, de origem antrópica ou natural, interfere na dinâmica desse sistema. Dessa forma, usá-la adequadamente trará benefícios para toda a unidade, principalmente às nascentes. Protegê-las significa contribuir para o aumento da quantidade e da qualidade de água nos reservatórios naturais.

2.2.2 Estudos de caso sobre degradação de áreas de nascentes

As nascentes apresentam notável importância ambiental, visto que são essenciais para a formação de toda a malha hidrográfica da Terra. Assim, qualquer curso d'água depende das nascentes. Além disso, existe também a importância econômica e social, já que são utilizadas para irrigação agrícola e abastecimento público. A sua degradação altera a vazão dos cursos d'água, afeta a qualidade da água além de prejudicar toda a biota que depende dessas fontes para sua sobrevivência. Medidas de proteção para as áreas de nascentes possibilita o ressurgimento das espécies nativas; aumento natural de vazão dos cursos d'água; novo *habitat* para a fauna e valorização das áreas restauradas.

Segundo os autores Soares *et al.* (2010), Ferreira *et al.* (2009), Menezes *et al.* (2009), Ferreira *et al.* (2011), Cabral da Silva *et al.* (2011), Koperski *et al.* (2011), Bruins *et al.* (2012), Fry *et al.* (2012), Mora *et al.* (2013) entre outros, as nascentes têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores no Brasil e no âmbito internacional desde o início do século XXI. Apresentam-se, a seguir, alguns estudos que tratam da degradação de áreas de nascentes, comprometimento de vazão, além de casos que envolvem biodiversidade e sua preservação.

Soares *et al.* (2010) estudaram impactos decorrentes das pressões antrópicas sobre três nascentes da sub-bacia hidrográfica do córrego do Caeté/MT. Duas delas estão situadas na zona rural do distrito de Sonho Azul, em Mirassol D'Oeste/MT (nascentes Zé Cassete e Carnaíba). A terceira, a nascente do córrego Tereré, localiza-se no perímetro urbano de São José dos Quatro Marcos-MT. Concluíram que a nascente do córrego Carnaíba apresentou-se mais preservada, fato corroborado pelas condições de uso e atributos naturais do entorno. Por outro lado, na nascente do córrego Zé Cassete, observaram o maior estado de degradação ocasionado pelo uso da área do entorno para práticas de cultivo de cana-de-açúcar, o que provocou uma redução considerável na qualidade do solo. Já a nascente do córrego Tereré, que é de fundamental importância para as comunidades, perdeu praticamente todas suas

características naturais. Para os pesquisadores supracitados, nas nascentes rurais do distrito de Sonho Azul, as atividades econômicas ligadas à criação de gado participam decisivamente na variação da vazão, indicando que os setores que desenvolvem o pastoreio, o volume de água diminui com maior evidência.

Em outra pesquisa realizada por Soares (2009), as mesmas nascentes citadas foram estudadas com o objetivo de verificar a dinâmica da vazão, as características da calha (batimetria) e a qualidade da água, relacionando essas informações às condições atuais dessas fontes. Foi realizado o monitoramento sazonal dos aspectos da hidrodinâmica e a coleta de amostras de água para análise em laboratório. Constatou-se que as melhores condições de suporte e de qualidade da água ocorreram na nascente do córrego Carnaíba, o que demonstrou o papel decisivo que a cobertura vegetal da área pode desempenhar na sua manutenção e capacidade de resiliência às pressões de atividades econômicas desenvolvidas na circunvizinhança. Esse resultado reforça as conclusões de Soares *et al.* (2010) de que a preservação contribui para manter a qualidade das nascentes e que a forma de uso da terra no seu entorno constitui fator decisivo na hidrodinâmica e na qualidade da água nos regimes de seca e cheia na região.

O trabalho de Ferreira *et al.* (2009) teve como objetivo avaliar a dinâmica da regeneração natural em duas nascentes em processo de recuperação no município de Lavras na região sul do estado das Minas Gerais, assim caracterizadas: nascente 1, engloba uma área formada por três nascentes difusas com 4,7 ha, situada no Campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e nascente 2, difusa com vários pontos de escoamento formando um brejo, localizada em propriedade particular vizinha à UFLA.

Essas nascentes foram classificadas quanto ao estado de conservação como perturbadas em diferentes estágios, pois estavam ocupadas com pastagem (capim, *Brachiaria sp.*), sendo constante a presença de gado. Na caracterização do solo foram realizadas análises químicas e textural, compactação e umidade. Para o levantamento florístico fitossociológico foram realizados dois inventários posteriores ao isolamento das áreas no ano de 2003. Concluíram que as nascentes se apresentam em estágio de recuperação, sendo que na de número 2, o processo estava mais avançado quando comparada à nascente 1. Os autores ressaltaram que, nas áreas próximas à nascente 1 existiam algumas espécies de eucaliptos (*Eucalyptus sp.*) e pinheiro (*pinus sp.*), enquanto que próximo à nascente 2, havia um pequeno fragmento remanescente de floresta. Por último, verificaram que o cercamento das nascentes

contribuiu sobremaneira para o processo de recuperação das áreas, mesmo em se tratando de um curto período de tempo para avaliação.

Resende *et al.* (2009) estudaram as nascentes da bacia hidrográfica do Córrego-Feio, município de Patrocínio, Minas Gerais, para diagnosticar as condições de degradação e os principais fatores de impacto ambiental sobre as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e também sugerir ações prioritárias de recuperação e preservação das áreas. Para avaliar o grau de conservação, as APPs foram divididas em quatro quadrantes e, com o auxílio de uma trena, medidos até 50 metros a partir do ponto principal do afloramento da água. Cada quadrante foi avaliado quanto à área de cobertura vegetal de floresta e a presença de fatores de perturbação.

As nascentes foram classificadas em três categorias: (1) Nascentes em bom estado de preservação (NPre) – aquelas que apresentaram todos os quadrantes com total cobertura vegetal e ausência de fatores de perturbação; (2) Nascentes perturbadas (NPer) – aquelas que apresentaram pelo menos um dos quadrantes com cobertura vegetal parcial, e ou com presença de fatores de perturbação; e (3) Nascente degradada (NDeg) – aquelas nas quais em pelo menos um dos quadrantes a cobertura vegetal estava totalmente ausente. O resultado da pesquisa mostrou que 14 nascentes (20% do total estudado) foram classificadas como NPre, 44 (63%) como NPer e 12 (17%) como NDeg.

Conforme esse estudo, as nascentes consideradas em bom estado de preservação tiveram prioridade em estudos florísticos e fitossociológicos para o conhecimento da vegetação local e orientação para programas de recuperação de áreas degradadas. Para essas nascentes a ação recomendada foi a manutenção do atual estado de preservação. Já as nascentes consideradas perturbadas tiveram como principal fator de perturbação a atividade agropecuária no seu entorno. Os autores assinalaram que nos planos de recuperação dessas áreas perturbadas considerassem modelos de reflorestamento que acelerassem o ganho de biomassa, mas, principalmente, auxiliassem no processo de drenagem das águas pluviais de forma a minimizar o impacto do assoreamento das nascentes e maximizar a reposição hídrica dos lençóis freáticos.

Os casos mais críticos de degradação foram observados nas nascentes onde a cobertura vegetal estava totalmente ausente em pelo menos um dos quadrantes avaliados e, na maioria dos casos, foram quase ou totalmente substituídas por pastagens ou áreas de cultivo. Nesses casos, fez-se necessário um processo de adequação legal das APPs pelo proprietário, o que

podia ser efetivado por meio de ações de educação ambiental com destaque para a importância da manutenção e manejo adequado das áreas (RESENDE *et al.*, 2009).

Menezes *et al.* (2009) realizaram um trabalho com o intuito de analisar a dinâmica hidrológica de duas nascentes na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha/MG com distintas coberturas vegetais, isto é, uma sob mata nativa (Mata Atlântica) e a outra, sob pastagem. Para analisar o funcionamento dessas áreas de recarga, as vazões específicas foram mensuradas ao longo do período seco, as características pedológicas e de declive foram levantadas, além da variabilidade espacial da densidade do solo, condutividade hidráulica, porosidade drenável e matéria orgânica. Segundo estes autores, além dos aspectos associados às classes de solos, consideraram a influência do balanço hídrico na sub-bacia hidrográfica e o tipo de cobertura vegetal predominante, com excedentes hídricos consideravelmente elevados, o que contribui de forma significativa para o escoamento de base na região.

As conclusões que chegaram Menezes *et al.* (2009) foram observadas por Pinto *et al.* (2004) quando encontraram maiores vazões nas nascentes em áreas de mata nativa em relação às pastagem. Segundo esses autores, a mata nativa propiciou uma maior infiltração das águas das chuvas no solo, com consequente recarga de aquíferos e alimentação das nascentes, impedindo que essas águas fossem drenadas para o leito dos rios. Castro *et al.* (2006) também tinham destacado a importância das florestas para a estabilidade das vertentes formadoras de nascentes por aumentar a infiltração da água no solo e diminuir a erosão hídrica.

No estado de Sergipe, Ferreira *et al.* (2011) realizaram um diagnóstico das principais nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, formada pelos rios Poxim-Mirim, Poxim-Açu, Pitanga e seus pequenos tributários, com o objetivo de classificar as nascentes quanto ao fluxo de água e estado de conservação, apresentar informações sobre a composição florística e uso dos solos, visando subsidiar futuros programas de restauração. Concluíram que das 20 nascentes pesquisadas, 90% apresentaram significativa antropização. A maioria delas (65%) com elevada degradação (sem vegetação num raio mínimo de 50m no entorno); práticas de atividades agrícolas em 50% e pastagem em 35% delas. Somente duas nascentes foram classificadas como preservadas, pois apresentavam vegetação num raio mínimo de 50 m em seu entorno.

No vale do Arava, na região de Israel, Bruins *et al.* (2012) investigaram a situação de algumas nascentes, em termos de fluxo de água e de cobertura vegetal, levando em consideração os fatores climáticos e antropogênicos. Eles usaram uma metodologia para determinar o grau de aridez da região. Também mensuraram a vazão das nascentes, a

salinidade e a cobertura vegetal. Uma das nascentes estudadas foi a de *Ein Tamar*, que tinha vazão de 60-70 m³/h em 1942, passou em 2010 para, aproximadamente, 1m³/h, o que representou uma diminuição de mais de 6.000%. Constataram então, que essa redução drástica deveu-se a duas comunidades agrícolas próximas, como também à presença de poços da companhia de abastecimento local. Assim, perceberam que os impactos antropogênicos foram fatores determinantes para a degradação dessa nascente. Verificaram ainda que aumento da aridez ocorrido na região foi um fator determinante na redução de vazão. Todos esses fatores foram significantes no processo de degradação das áreas de nascentes.

Fry *et al.* (2012) realizaram uma pesquisa sobre a sustentabilidade das fontes de água da região do Alto Beni, na Bolívia, avaliando os efeitos dos impactos do desenvolvimento local e das mudanças climáticas. Para isso, levantaram dados como densidade populacional, áreas ocupadas pela agricultura na bacia hidrográfica e número de famílias atendidas com abastecimento de água e saneamento. De acordo com o modelo de equilíbrio da água utilizado, estimaram a disponibilidade hídrica em determinados cenários, considerando que a região é sustentável se o grau de *stress* aquático calculado fosse menor que 20%. Os resultados obtidos para a maioria dos cenários, considerando as mudanças climáticas e a expansão dos serviços de saneamento, apontaram o uso das águas subterrâneas como sustentável na região. Contudo, concluíram que as poucas áreas de recargas das nascentes podiam ser insuficientes para suportar a expansão do sistema de saneamento.

Conforme Mora *et al.* (2013), o aquífero Edwards, localizado na parte Centro-Sul do estado do Texas, Estados Unidos, é reconhecido mundialmente por suas espécies de flora e fauna aquáticas, muitas das quais estão ameaçadas. É também a principal fonte de água que atende as necessidades da agricultura, das indústrias e de aproximadamente 2 milhões de pessoas. O peixe *Etheostoma fonticola* tem sido o pivô de controvérsias envolvendo o estado de espécies ameaçadas de extinção. Os autores desenvolveram um modelo numérico a partir dos índices históricos de vazão das nascentes, no período de 1973 a 2011, e usaram-no para prever a dinâmica da população desses alevinos em cenários de baixa vazão nas nascentes. A simulação sugeriu que mesmo utilizando uma vazão muito baixa, associada à maior seca registrada em 2011, não houve efeitos significativos na dinâmica da população. Entretanto, quando a vazão foi reduzida para menos de 2,8 m³/s, o nível populacional começou a reduzir bruscamente. Conforme o estudo esse modelo pode servir como base para representar os impactos das mudanças nas vazões das nascentes às espécies de peixe, que poderá ser

desenvolvido para representar não apenas esses impactos, mas também mudanças na qualidade da água pelo lançamento *in natura* de efluentes e contaminantes.

Neste mesmo contexto, Koperski *et al.* (2011) afirmam que a diversidade biológica das nascentes faz delas lugares importantes para a preservação da natureza. Os autores estudaram 25 nascentes localizadas no Sul da Polônia. Na pesquisa foram considerados o número de invertebrados encontrados e a química da água. Apuraram a relação entre a composição da fauna e os fatores abióticos usando análises estatísticas variadas. Revelaram, então, que características como o número de organismos encontrados são muito dependentes da vazão e da composição dos sedimentos orgânicos, como também de outros fatores abióticos a exemplo da alcalinidade, teor de nitrato e temperatura.

2.3 Sustentabilidade Ambiental: dos Indicadores aos Índices

Medir sustentabilidade ambiental é fazer um juízo de valor sobre o estado dos atributos do meio (como água, solo e ar) com relação à sua influência ou à sua capacidade de atender às condições necessárias para a vida num determinado espaço e tempo. Assim, vários parâmetros e variáveis têm sido apontados na literatura como influentes no desempenho de sistemas hídricos e ambientais – os chamados **indicadores**. Na verdade, segundo Vieira e Studart (2009), a dificuldade não parece estar em apontar indicadores, mas em agregá-los em um único parâmetro – **índice** – capaz de traduzir numericamente uma situação e apontar, ao tomador de decisão, o sentido da sustentabilidade da região. A diversidade em relação ao conceito de desenvolvimento sustentável é tão grande que não existe um consenso sobre o que deve ser sustentado e tampouco sobre o que o termo significa; consequentemente, não existe consenso sobre como medir a sustentabilidade (BELLEN, 2006).

Apesar das diferentes visões sobre o desenvolvimento sustentável, há ferramentas que procuram mensurar a sustentabilidade de uma bacia hidrográfica por entender sua importância e ajudar na orientação de práticas de preservação e conservação ambiental, e como observa Tundisi (2003, p.109): “a bacia hidrográfica é também um processo descentralizado de conservação e proteção ambiental, sendo um estímulo para a integração da comunidade e a integração institucional”.

Para Gallopin (1996), os indicadores de sustentabilidade podem ser considerados o principal componente da avaliação do progresso em relação a um desenvolvimento denominado como sustentável. Hardi e Barg (1997) afirmam que os indicadores de sustentabilidade são sinais referentes a eventos e sistemas complexos. Os autores definem os

indicadores como partes de informações que assinalam para características dos sistemas, com ênfase para o que está acontecendo. Nesse mesmo contexto, Silva *et al.* (2010) consideram que a função dos indicadores é dar melhor compreensão às informações sobre dados complexos e são essenciais para uma melhor análise do desenvolvimento em várias dimensões (socioeconômicas, ambientais, geográficas, institucionais e culturais), uma vez que permitem verificar os impactos das ações humanas no ecossistema.

Os indicadores, quando colocados de forma numérica, são valores medidos ou derivados de mensurações quantitativas e/ou qualitativas passíveis de serem padronizados e assim comparados com informações de outras áreas, regiões ou países. Dessa forma, possibilitam a seleção das informações significativas, a simplificação de fenômenos complexos, a quantificação de informação e a comunicação da informação entre coletores e usuários. Segundo Santos (2010b) os indicadores e índices são elaborados para exercerem as funções de simplificação, quantificação, análise e comunicação, o que permite entender fenômenos e torná-los quantificáveis e compreensíveis.

O desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade hidroambientais tem recebido atenção crescente, conforme verificado nos trabalhos de Vieira (1996), Guimarães (2008), Martins e Cândido (2008), Vieira e Studart (2009), Magalhães Júnior (2010), Carvalho *et al.* (2011). Além destes, outros estudos sobre indicadores e índices de sustentabilidade foram realizados por cientistas e grupos acadêmicos como Hammond *et al.* (1995), Moldan e Billharz (1997), Corálio (1997), NRC (1999), Daniel (2000), IISD (2000), Swart *et al.* (2002), Xu *et al.* (2005), Santos (2010a) e Santos (2010b). Esses grupos deram significantes contribuições para o desafio de mensurar índices de sustentabilidade. Contudo, há ainda muito trabalho a ser feito.

Segundo Cândido (2004) e Bellen (2006), dentre as metodologias mundialmente aceitas em estudos de sustentabilidade ambiental estão três sistemas de indicadores: Barômetro da Sustentabilidade (*Barometer of Sustainability*), Painel da Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*) e a Pegada Ecológica (*Ecological Footprint Method*). O Quadro 2.2 a seguir apresenta as clássicas ferramentas metodológicas de determinação de sustentabilidade, seus escopos e esferas de atuação.

Para a *Organization for Economic Cooperation and Development* – OECD (1994), um indicador deve ser compreendido como um parâmetro ou valor derivado de parâmetros que sinalizam e fornecem informações sobre o estado de um fenômeno com um alcance significativo. Segundo Gallopín (1996), os indicadores mais adequados são aqueles que

sintetizam e simplificam as informações relevantes e fazem com que certos fenômenos que ocorrem na realidade se tornem mais evidentes, condição sumamente importante na gestão ambiental.

Quadro 2.2 Ferramentas metodológicas de determinação da sustentabilidade seus escopos e esferas de atuação

FERRAMENTAS	CONCEITO	ESCOPO	ESFERA
Painel de Sustentabilidade (<i>Dashboard of Sustainability</i>)	Sistema conceitual que fornece informações sobre a direção do desenvolvimento e seu grau de sustentabilidade. É uma ferramenta que faz uma metáfora a um painel de automóvel para informar aos tomadores de decisão e ao público em geral da situação do progresso em direção ao desenvolvimento sustentável.	Social Ambiental Econômico Institucional	Continental Nacional Regional Local Organizacional
Pegada Ecológica (<i>Ecological Footprint Method</i>)	Representa o espaço ecológico correspondente para sustentar um determinado sistema ou unidade, contabilizando o fluxo de matéria e energia que entram e saem de um sistema. Consiste em estabelecer a área necessária para manter uma determinada população ou sistema econômico indefinidamente, fornecendo energia, recursos naturais e capacidade de absorver os resíduos ou rejeitos do sistema.	Ambiental	Global Continental Nacional Regional Local Organizacional
Barômetro da Sustentabilidade (<i>Barometer of Sustainability</i>)	Modelo sistêmico que objetiva mensurar a sustentabilidade por meio da avaliação do estado de pessoas e do meio ambiente em busca do desenvolvimento sustentável em nível global ou local. Avalia o progresso em direção à sustentabilidade pela integração de indicadores e mostra o seu resultado por meio de índices.	Social Ambiental	Continental Nacional Regional Local

Fonte: Bellen (2006) adaptado por Santos (2010b).

Na utilização de indicadores para avaliar a dinâmica de um sistema complexo - ambiente, organização, território, população - devem ser considerado os objetivos essenciais para os quais foram concebidos (OECD, 1994; HAMMOND *et al.*, 1995; EPA, 1995; CALÓRIO, 1997; IISD, 1999; DANIEL, 2000; EEA, 2004; SANTOS 2010a; SANTOS, 2010b).

As proposições para o eco desenvolvimento com os princípios do desenvolvimento sustentável foram elencadas por Sachs (1993) e adaptados por Montibeller-Filho (2004) estão apresentadas no Quadro 2.3, a seguir.

Outras dimensões para o desenvolvimento sustentável foram sugeridas por Buarque (2002) que agrega a dimensão tecnológica a esta lista. Barbieri (2000) já havia proposto acrescentar a dimensão política, por acreditar que só assim as instituições democráticas se fortaleceriam, havendo promoção da cidadania.

Quadro 2.3 As cinco dimensões do desenvolvimento sustentável

DIMENSÃO	COMPONENTES	OBJETIVOS
Sustentabilidade Social	✓ Criação de postos de trabalho que permitam a obtenção de renda individual adequada; ✓ Produção de bens dirigida; ✓ Prioritariamente às necessidades básicas sociais.	Redução das desigualdades
Sustentabilidade Econômica	✓ Fluxo permanente de investimentos públicos e privados; ✓ Manejo eficiente dos recursos; ✓ Absorção, pela empresa, dos custos ambientais; ✓ Endogenização: contar com suas forças.	Aumento da produção e da riqueza social, sem dependência externa
Sustentabilidade Ecológica	✓ Produzir respeitando os ciclos ecológicos dos ecossistemas; ✓ Pendência no uso dos recursos naturais; ✓ Prioridade à produção de biomassa e à industrialização de insumos naturais renováveis; ✓ Redução da intensidade energética e aumento da conservação de energia; ✓ Tecnologias e processos produtivos de baixo índice de resíduos; ✓ Cuidados ambientais.	Melhoria da qualidade do meio ambiente e preservação das fontes de recursos energéticos e naturais para as próximas gerações
Sustentabilidade Espacial	✓ Desconcentração especial (de atividades e de população); ✓ Desconcentração/democratização do poder local e regional; ✓ Relação cidade/campo equilibrada (benefícios centrípetos).	Evitar excesso de aglomerações
Sustentabilidade Cultural	✓ Soluções adaptadas a cada ecossistema; ✓ Respeito à formação cultural comunitária.	Evitar conflitos culturais com potencial regressivo

Fonte: Sachs (1993) adaptado por Montibeller-Filho (2004).

O modelo sugerido pelo *World Resources Institute* (WRI) sistematiza as informações ambientais na forma de estruturas, organizando logicamente as informações, para torná-las de fácil compreensão ao público (OECD, 1994). O sistema adota a forma de Pressão-Estado-Resposta que tem como objetivos apresentar as questões ambientais de forma que respondam as seguintes indagações:

- ✓ **Indicadores de Estado:** O que está acontecendo com o meio ambiente e com a base de recursos naturais?
- ✓ **Indicadores de Pressão:** Por que está acontecendo?
- ✓ **Indicadores de Resposta:** O que está sendo feito para reverter as pressões?

Devido à simplicidade de sua concepção, esse modelo tem sido muito empregado por pesquisadores, porém não detalha a infinidade de interações que ocorrem entre as atividades humanas e o sistema ambiental (FRANCA, 2001). Em 1991, o Conselho da OECD aprovou uma “Recomendação sobre Indicadores e Informação Ambiental” que orientava seu Comitê de Política Ambiental a elaborar “núcleos de indicadores ambientais com características de

confiabilidade, facilidade de entendimento, mensuração e relevância para a avaliação de políticas” (OECD, 1994, p. 44).

A alternativa desenvolvida por Calório (1997) e aperfeiçoada por Daniel (2000) teve como objetivo representar toda a coleção de indicadores medidos em um sistema por meio da confecção de gráficos tipo radar. Com esta alternativa é possível reduzir custos operacionais e gerar procedimentos metodológicos que possam ser utilizados por usuários pouco especializados. Daniel (2000) concluiu que este sistema de avaliação gera índices que podem ser aplicados no gerenciamento da sustentabilidade dos sistemas agroflorestais e que os gráficos tipo radar se apresentam como uma boa opção para ilustração dos indicadores e índices de forma didática.

Conforme Bellen (2006), os indicadores podem ser expressos na forma escalar ou vetorial e têm magnitude e direção. São dados bidirecionais e podem ser apresentados graficamente. No gráfico, o tamanho do vetor indica grandeza e sua direção pode ser visualizada diretamente. O benefício de utilizar indicadores expressos como vetores é poder exprimir a realidade de uma maneira gráfica, bem como as tendências no futuro. Enquanto os defensores das medidas vetoriais argumentam que a complexidade do sistema pode ser mais bem entendida a partir das medidas vetoriais, os pesquisadores que utilizam índices escalares sustentam que a simplificação é uma das maiores vantagens das medidas escalares. Por outro lado, Luz (2002) sugere que os indicadores devem cumprir duas funções imprescindíveis: dar apoio às decisões (administrativas ou de gestores públicos) e servir de instrumento de demonstração.

Segundo França (2001) os indicadores ambientais começaram a ser utilizados por meio do incentivo de governos e organizações internacionais na formulação e divulgação dos primeiros relatórios sobre o estado do meio ambiente, nas décadas de 70 e 80. Assim, o *World Resources Institute*, dos Estados Unidos, entre 1980 e 1990, desenvolveu uma pesquisa sobre indicadores ambientais que resultou na publicação do relatório chamado *Indicadores Ambientais: uma Abordagem Sistemática para Medir e Informar o Desempenho Político-Ambiental no Contexto do Desenvolvimento Sustentável (Environmental Indicators: a Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development)*. Nesse documento estavam sugeridos quatro indicadores sintéticos que retratavam as formas de interação entre sociedade e ambiente com base nos conceitos clássicos da função que a economia exerce sobre o meio ambiente, a saber:

depleção de recursos naturais, poluição, risco para os ecossistemas e impacto ambiental sobre o bem-estar humano (HAMMOND *et al.*, 1995).

Apesar das controvérsias sobre sustentabilidade, a aplicabilidade dos seus fundamentos teóricos passa pela formulação de ferramentas de mensuração diante da necessidade de sair do plano teórico e se tornar operacional. Para que isso seja possível torna-se necessário pensar uma maneira de quantificá-la. Segundo Hammond *et al.* (1995) os indicadores podem informar sobre o progresso em busca de uma determinada meta como, por exemplo, o desenvolvimento sustentável, mas também podem ser visualizados como um recurso que deixa mais perceptível uma tendência ou fenômeno que não seja imediatamente detectável.

O reconhecimento da informação relevante, capaz de potencialmente explicar a existência de quaisquer processos não-sustentáveis de desenvolvimento na interação entre sociedade e meio ambiente, torna-se possível para uma sociedade se ela possuir instrumentos técnico-científicos e políticos construídos com essa finalidade. Assim, a necessidade de mensurar sustentabilidade surge como condição indispensável para a elaboração de soluções sustentáveis em desenvolvimento (RIBEIRO, 2000).

Por outro lado, ao se pensar no desenvolvimento de forma sustentável, é preciso considerar a necessidade de um acompanhamento simultâneo. Nesse contexto, percebe-se, então, conforme Marzall e Almeida (1999), um considerável aumento do interesse pela busca de indicadores de sustentabilidade por parte de organismos governamentais, não-governamentais, institutos de pesquisa e universidades em todo o mundo. Então, muitas conferências já foram realizadas por entidades internacionais e por iniciativas de pesquisadores da área em nível governamental e acadêmico.

Para Tusntall (1992; 1994), os indicadores têm as seguintes funções:

- ✓ Avaliar condições e tendências;
- ✓ Comparar lugares e situações;
- ✓ Fornecer informações de advertência;
- ✓ Antecipar futuras condições e tendências.

Um indicador pode ter como objetivos (OECD, 1994; HAMMOND *et al.*, 1995; EPA, 1995; CALÓRIO, 1997; IISD, 1999; DANIEL, 2000; EEA, 2004; SANTOS 2010a; SANTOS, 2010b):

- a) definir ou monitorar a sustentabilidade de uma realidade;

- b) facilitar o processo de tomada de decisão;
- c) evidenciar em tempo hábil modificação significativa em um dado sistema;
- d) caracterizar uma realidade, permitindo a regulação de sistemas integrados;
- e) estabelecer restrições em função da determinação de padrões;
- f) detectar os limites entre o colapso e a capacidade de manutenção de um sistema;
- g) tornar perceptíveis as tendências e as vulnerabilidades;
- h) sistematizar as informações, simplificando a interpretação de fenômenos complexos;
- i) ajudar a identificar tendências e ações relevantes, bem como avaliar o progresso em direção a um objetivo;
- j) prever o *status* do sistema, alertando para possíveis condições de risco;
- k) detectar distúrbios que exijam o replanejamento; e,
- l) medir o progresso em direção à sustentabilidade.

Os indicadores podem ser conceituados como variáveis individuais ou derivadas de outras variáveis. A função pode ser simples como: uma relação de medida da variável em relação a uma base específica; um índice, um número que seja uma função simples de duas ou mais variáveis; ou complexa, como resultado de um grande modelo de simulação. Para Bossel (1998, p. 76) os indicadores são “nossa ligação com o mundo”, pois condensam a complexidade de uma quantidade manejável de informações importantes, influenciando nas nossas decisões e conduzindo nossas atitudes. Também ajudam a construir um cenário do estado do ambiente sobre o qual se podem tomar decisões inteligentes para proteção e promoção do cuidado ambiental. Ainda de acordo com Bossel (1998), existem dois tipos principais de indicadores: aqueles que medem o estado do sistema (estoque ou níveis) e aqueles que mensuram a taxa de mudanças provocadas no estado do sistema.

Nesse sentido, Gallopin (1996) propõe que sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável sigam alguns requisitos universais:

- ✓ os valores dos indicadores devem ser mensuráveis (ou observáveis);
- ✓ deve existir disponibilidade de dados;
- ✓ a metodologia para a coleta e o processamento dos dados, bem como para a construção dos indicadores, deve ser limpa, transparente e padronizada;

- ✓ os meios para construir e monitorar os indicadores devem estar disponíveis, incluindo capacidade financeira, humana e técnica;
- ✓ os indicadores ou grupo de indicadores devem ser financeiramente viáveis; e
- ✓ deve existir aceitação política dos indicadores no nível adequado. Indicadores não-legitimados pelos tomadores de decisão são incapazes de influenciar decisões.

A complexidade dos problemas do desenvolvimento sustentável requer sistemas interligados, indicadores inter-relacionados ou a agregação de diferentes indicadores. Porém, na prática, existem poucos sistemas de indicadores que lidam, particularmente, com o desenvolvimento sustentável, sendo a maioria em caráter experimental, desenvolvidos com o propósito de melhor compreender os processos relacionados à sustentabilidade.

Gallopín (1996) assevera que na avaliação de programas de desenvolvimento sustentável os indicadores devem ser escolhidos em diferentes níveis hierárquicos de percepção. Algumas vezes se assume que indicadores devem ser criados necessariamente a partir da associação de dados ou variáveis de nível mais baixo, como a abordagem da pirâmide de informações da OECD (1994).

Quanto à ideia de sustentabilidade hidroambiental, Vieira (1996) a definiu como a gestão integrada de recursos hídricos na abrangência de vários aspectos como o ciclo hidrológico, em suas fases superficial, subterrânea e aérea; os usos múltiplos da água; o inter-relacionamento dos sistemas naturais e sociais; e a interdependência dos componentes econômicos, sociais, ambientais e políticas do desenvolvimento, que na contemporaneidade encontram-se qualificados no desenvolvimento sustentável.

Baseado na comparação entre a potencialidade, a disponibilidade e a demanda de cada bacia hidrográfica, Vieira (1996) estabeleceu os seguintes indicadores de sustentabilidade hídrica: Índice de Ativação da Potencialidade – IAP, definido como a razão entre a disponibilidade e a potencialidade; Índice de Utilização da Disponibilidade – IUD, razão entre a demanda e a disponibilidade; e Índice de Utilização da Potencialidade, razão entre a demanda e a potencialidade. A partir dessas definições foram avaliados três indicadores da vulnerabilidade dos sistemas hídricos, relacionados à insuficiente capacidade de acumulação, à demanda crescente de água e à intermitência dos cursos d'água (CAMPOS, 1997). Contudo, de acordo com o autor, outros indicadores de vulnerabilidade são relevantes, tais como: o nível de atendimento em serviços de água e esgoto às demandas da sociedade; a variabilidade

dos deflúvios anuais; a sobre-exploração das águas subterrâneas; os níveis de garantia adotados na operação dos reservatórios.

Carvalho *et al.* (2011) desenvolveram um trabalho baseado nos estudos de Guimarães (2008), Martins e Cândido (2008), Vieira e Studart (2009) e Magalhães Júnior (2010), com o objetivo de verificar o nível de sustentabilidade hidroambiental dos municípios localizados na sub-bacia hidrográfica do alto curso do rio Piranhas, no estado da Paraíba. Foi utilizada uma pesquisa documental e exploratória, com abordagem quantitativa e descritiva. Foram escolhidos alguns indicadores hidroambientais, de acordo com a disponibilidade de dados, no intuito de identificar um Índice de Sustentabilidade Hidroambiental para Bacia Hidrográfica (ISHBH). Para a definição e representação gráfica do índice final os autores adotaram as recomendações propostas por Martins e Cândido (2008).

Os resultados apontaram um cenário de insustentabilidade hídrica enfrentado por alguns municípios, evidenciando a necessidade de definir programas de gestão hídrica capazes de reverter o quadro de instabilidade. Os autores sugeriram ações mais responsáveis das entidades reguladoras da gestão de águas nos municípios paraibanos e em especial, na sub-bacia estudada.

MATERIAIS E MÉTODOS

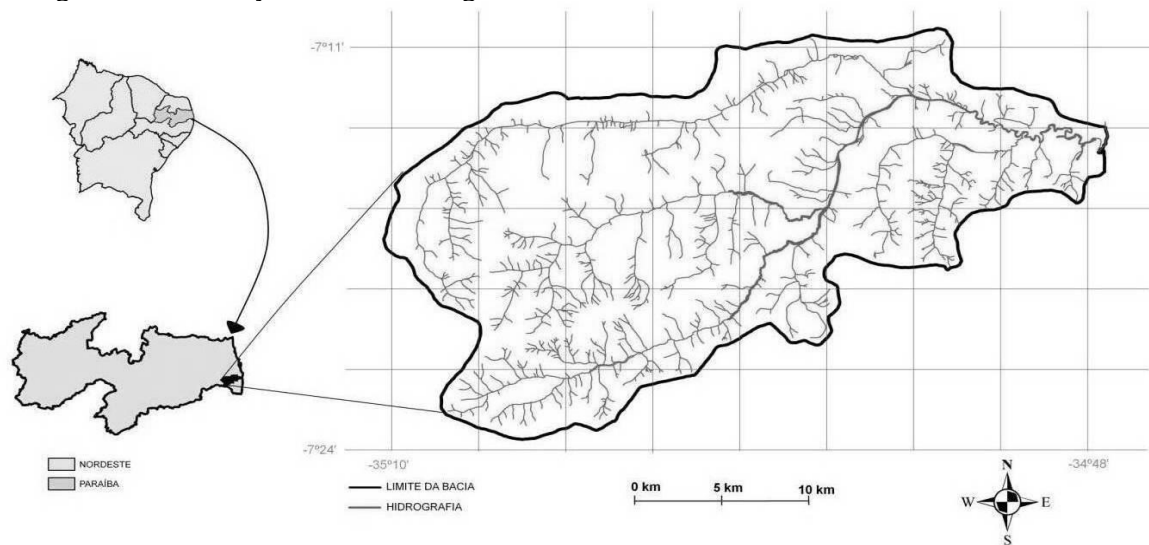
“Os indicadores assinalam o caminho”
Maria José (Anhanza)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Gramame (BHRG) possui uma área de drenagem de aproximadamente 589,1 km² e está localizada entre os paralelos 7°11' e 7°24' de latitude Sul e 34°48' e 35°10' de longitude Oeste (Figura 3.1). Abrange parte dos municípios de Pedras de Fogo, Santa Rita, Alhandra, Conde, São Miguel de Taipu, Cruz do Espírito Santo e a capital do estado da Paraíba, João Pessoa. Os seus principais cursos d'água são os rios: Gramame, Mamuaba, Mumbaba e Água Boa.

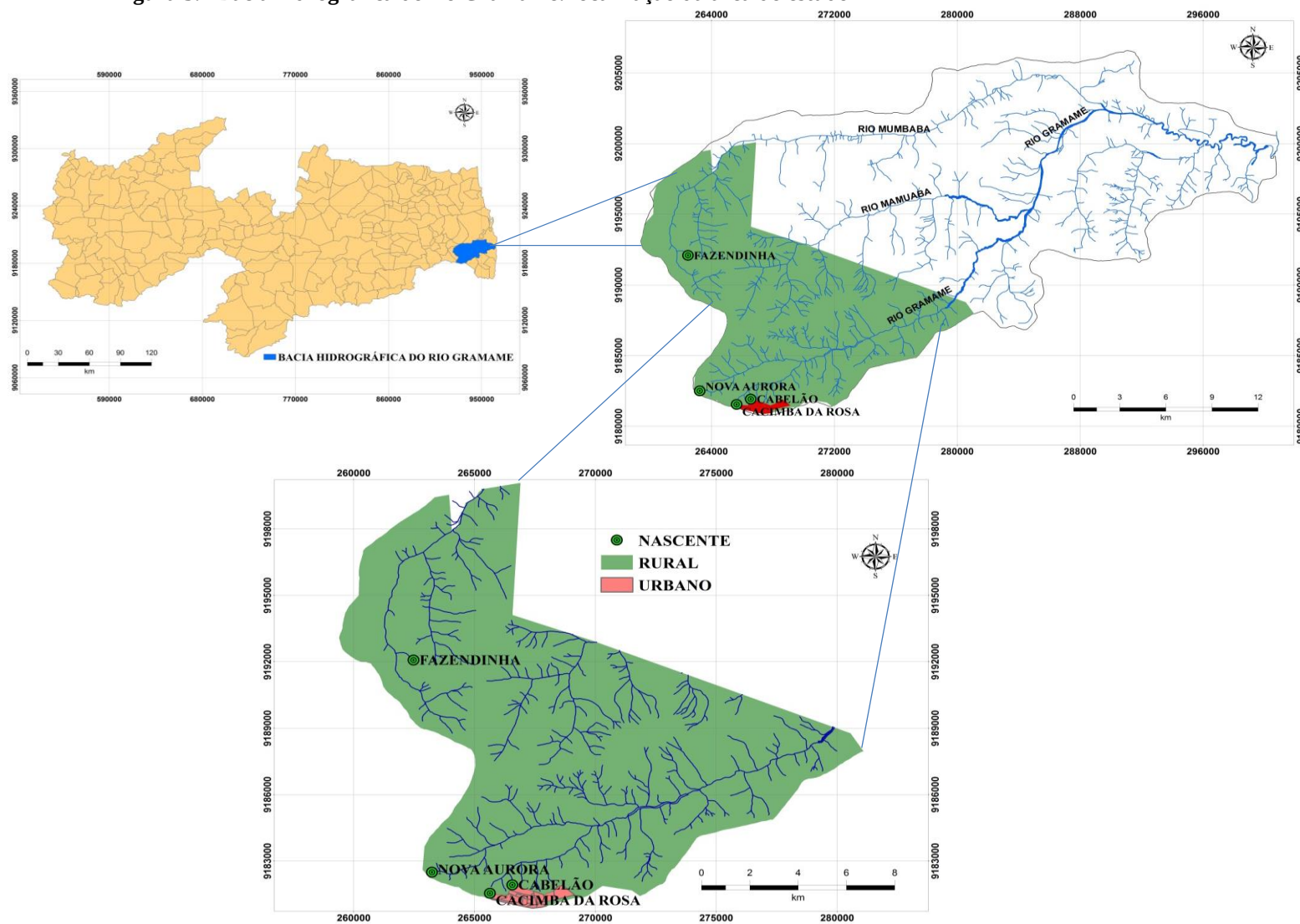
Figura 3.1 Localização da bacia hidrográfica do rio Gramame



Fonte: Paraíba (2000).

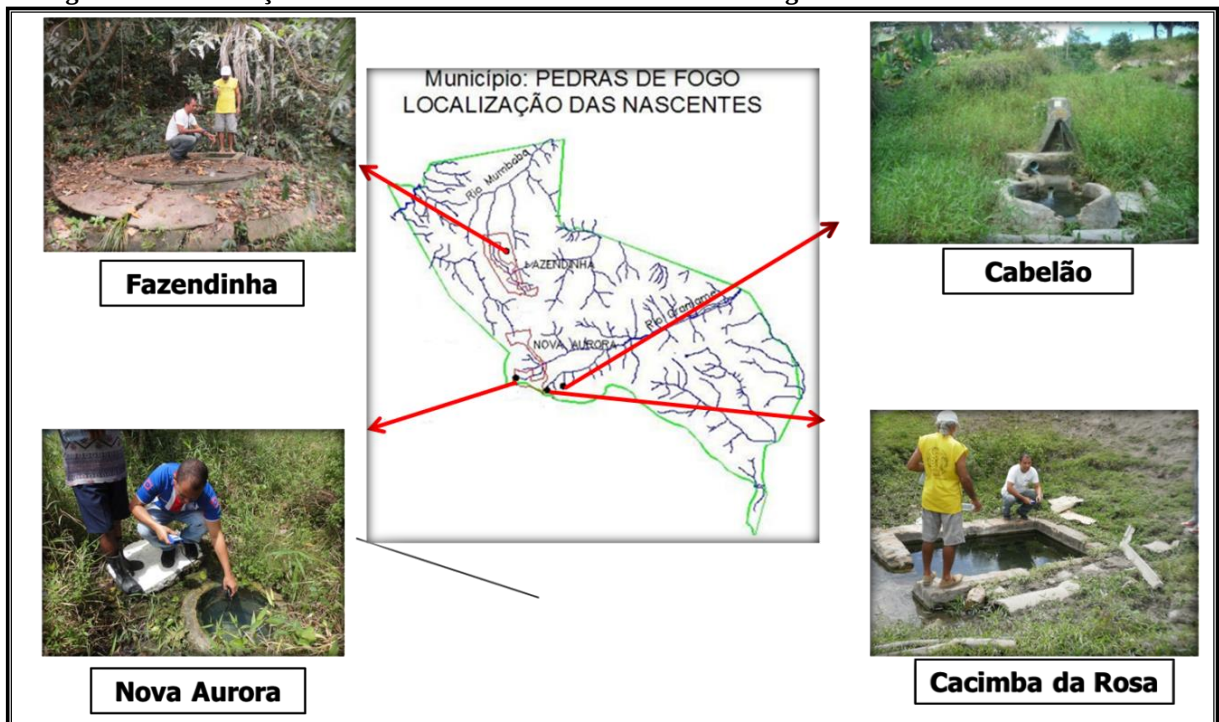
A área de estudo localiza-se entre as latitudes 9.204.728m e 9.210.728m N e as longitudes 280.619m e 290.619m E (em coordenadas UTM, SAD 69, Zona 25, Hemisfério Sul), no município de Pedras de Fogo, região do litoral Sul do estado da Paraíba (Figura 3.2). Envolve quatro (04) nascentes (Figura 3.3), dentre as setenta e uma (71) catalogadas na bacia hidrográfica do rio Gramame por Di Lorenzo (2007). Três delas estão situadas na sub-bacia hidrográfica do rio Gramame: Cabelão (9.181.918m N e 266.560m E), Cacimba da Rosa (9.181.542m N e 265.632m E) e, Comunidade Nova Aurora (9.182.495m N e 263.233m E); e uma na sub-bacia do rio Mumbaba: Comunidade Fazendinha (9.192.080m N e 262.473m E).

Figura 3.2 Bacia hidrográfica do rio Gramame: localização da área do estudo



Fonte: Paraíba (2000). Elaboração: Franklin Linhares (2013)

Figura 3.3 Localização das nascentes no alto curso da bacia hidrográfica do rio Gramame/PB



Fonte: Projeto Recuperando as Nascentes do Gramame (2010-2012).

Fotos: Adriana Moura e José Dorivaldo Oliveira (2012)

Essas nascentes foram selecionadas para o estudo pela facilidade de acesso por estarem localizadas em assentamentos agrícolas do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária/INCRA (Comunidade Nova Aurora e Comunidade Fazendinha), e em comunidades rurais de exploração agrícola familiar.

3.1.1 Condicionantes físicos

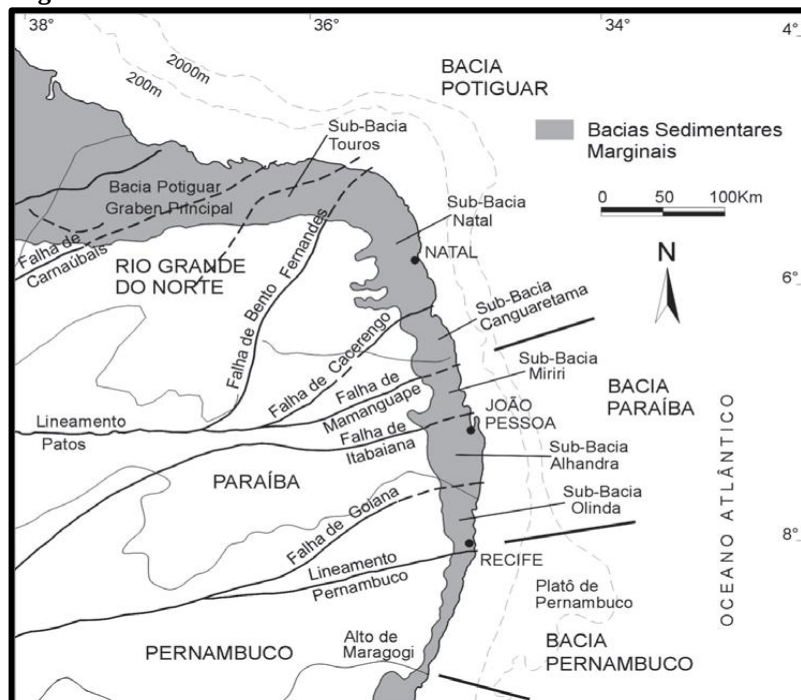
A bacia hidrográfica do rio Gramame (BHRG) está inserida na região litorânea, que possui média anual de precipitação, variando entre 1400-1800 mm. Os ventos predominantes são os alísios de Sudeste, com velocidade moderada. A classificação climática de acordo com Köppen indica um clima tropical chuvoso do tipo As', do tipo quente e úmido, sem períodos frios e com chuva predominante de outono a inverno. A proximidade da região com a linha do Equador determina as altas temperaturas durante o ano inteiro, com média superior aos 26°C, sendo que a média das máximas atinge 30°C (janeiro-abril) e a média das mínimas é de 23°C (junho-agosto) (HECKENDORFF; LIMA, 1985).

Essa bacia hidrográfica possui uma grande diversidade no quadro vegetal, o qual as unidades fitogeográficas são determinadas, além das condições climáticas, pelas condições variadas dos compartimentos morfológicos e pedológicos presentes na região, com destaque

para a Mata Atlântica, os Cerrados, os Manguezais e os Campos de Várzea. Contudo, possui um elevado índice de devastação da vegetação nativa, como consequência das diversas atividades exploratórias desordenadas na região, principalmente para o cultivo da monocultura da cana-de-açúcar e abacaxi, indústrias de mineração, instalação de loteamentos, estruturas viárias e construção do açude Gramame-Mumbaba (SANTOS, 2009).

A BHRG encontra-se inserida na bacia sedimentar Paraíba, a qual limita-se ao sul pela Zona de Cisalhamento de Pernambuco (ZCPE) e ao norte pela falha de Mamanguape, que representa uma ramificação da Zona de Cisalhamento de Patos (ZCPA) (BARBOSA *et al.*, 2007). Essa bacia é subdividida em três sub-bacias, compartimentadas, respectivamente, no sentido Norte-Sul em: Miriri, Alhandra e Olinda. A bacia hidrográfica do rio Gramame encontra-se na sub-bacia Alhandra, limitada ao sul pela falha de Goiana e ao norte pela falha de Itabaiana (Figura 3.4).

Figura 3.4 Bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba



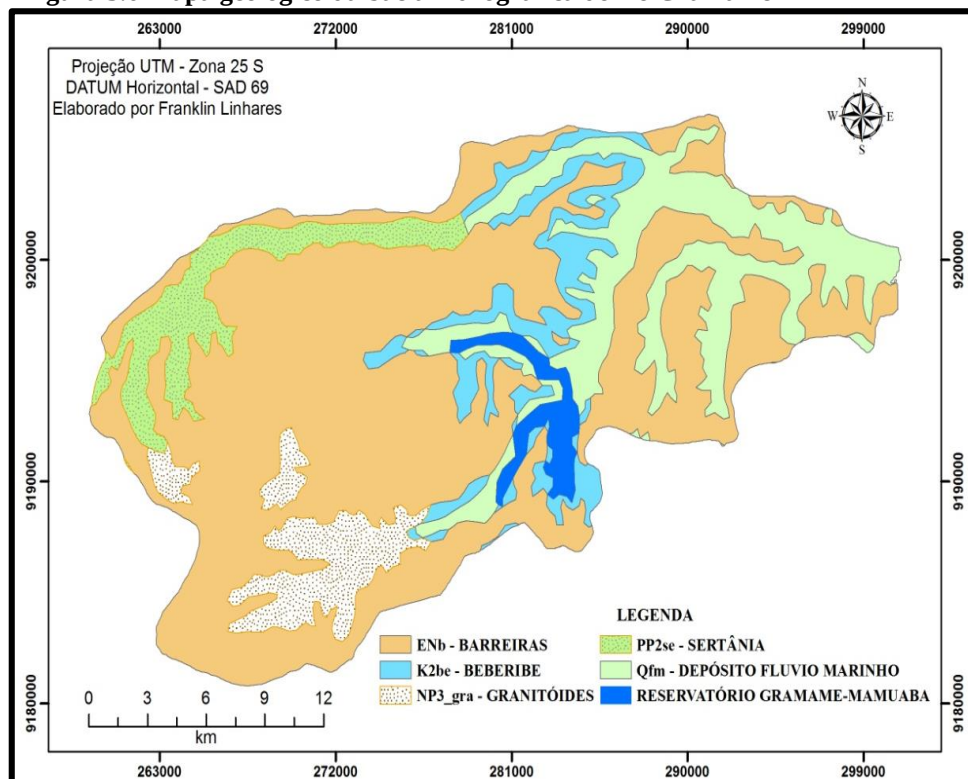
Fonte: Barbosa *et al.* (2003).

Na bacia sedimentar Paraíba apresentam-se quatro unidades litoestratigráficas, depositadas em períodos geológicos distintos. A unidade litoestratigráfica basal é denominada de Formação Beberibe, representada por um espesso pacote de arenitos com granulação variável e espessuras médias de 230 a 280 m. Acima da Formação Beberibe, repousa de forma

Mumbaba e Mamuaba, afloram, espaçadamente, corpos graníticos e granitóides, alongados e laminados, caracterizados por falhas e fraturas (Figura 3.6).

De acordo com Mente (2008), a bacia sedimentar Paraíba está na Província Hidrogeológica Costeira, que abrange a extensa faixa litorânea do país, estendendo-se desde o estado do Amapá até o estado do Rio Grande do Sul, sendo que em alguns trechos ela apresenta penetrações para o interior. Os aquíferos mais promissores e bem distribuídos da província correspondem aos clásticos não consolidados a fracamente consolidados de idade cenozóica (Q = Aluviões, sedimentos flúvio-marinhos e eólicos; TQb = Barreiras)

Figura 3.6 Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Gramame

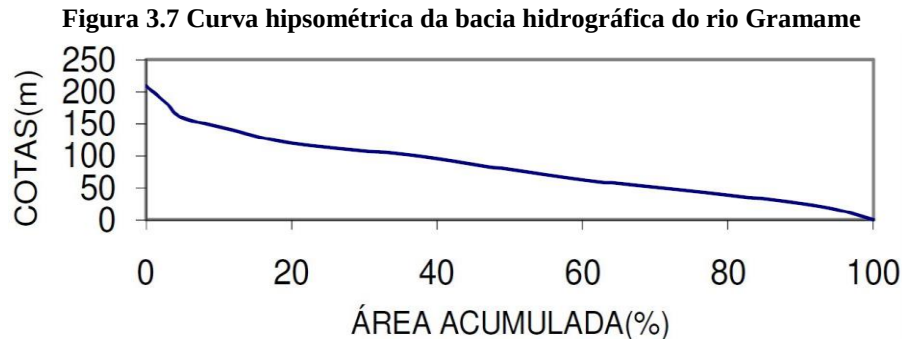


Fonte: CPRM (2002).

A geologia da área na qual está contida a bacia hidrográfica do rio Gramame possui rochas do embasamento cristalino, caracterizadas pela as Formações Granitóides e Sertânia, compostas por litotipos do complexo Gnáissico-Migamatítico, e vertente aflorantes ou recobertas discordantemente por sedimentos meso-cenozóicos, que por sua vez são cobertos pela Formação Barreiras e outras unidades não consolidadas.

A representação gráfica do relevo da BHRG é apresentada na curva hipsométrica, obtida por meio da planimetria das áreas de curvas de nível com equidistância de 10 m,

acumuladas e expressas em porcentagem da área total da bacia hidrográfica (Figura 3.7). A partir da curva hipsométrica pode-se definir a altitude mediana e a média, que são de 82 e 80 metros, respectivamente.



Essa região apresenta três grandes compartimentos geomorfológicos, são eles: (a) a baixada litorânea, que corta o estado da Paraíba paralelamente ao litoral, formada por terrenos sedimentares, geralmente quaternários, a partir de processos marinhos, flúvio-marinhos e eólicos, (b) os tabuleiros costeiros, que se estendem por toda faixa litorânea do Nordeste Oriental, representados por baixos planaltos sedimentares que cortam a baixada litorânea no sentido oeste-leste, e formado de material areno-argiloso, pouco consolidado, de coloração vermelho-amarelado da Formação Barreiras, e (c) as planícies aluviais, formadas pelo depósito de sedimentos deixados pelas redes hidrográficas (CARVALHO, 1988).

3.2 Diagnóstico Ambiental

Na etapa inicial desta pesquisa foram realizadas visitas *in loco* e comparadas aos levantamentos do projeto de pesquisa “Restauração das Nascentes do rio Gramame”, de forma a se obter informações mais detalhadas a respeito das características físicas, dos aspectos ambientais e de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Gramame. Por ocasião dessas visitas foi feito também o inventário dos usuários de água e suas demandas. As principais fontes poluidoras de influência direta às nascentes estudadas também foram levantadas.

Nos trabalhos de campo foram realizadas caminhadas exploratórias georreferenciadas e registros fotográficos no período de janeiro a dezembro de 2012, permitindo averiguar o processo de desmatamento e detecção dos níveis de alterações visuais das quatro nascentes estudadas. Paralelamente, foi realizado o reconhecimento das áreas das nascentes, com descrição geral de seus elementos, informações georreferenciadas, com uso de receptor

Global Position System (GPS), para auxiliar a confecção de mapas temáticos; avaliação *in loco* das condições do meio ambiente.

Os fundamentos teórico-metodológicos deste estudo foram decorrentes da leitura e fichamento de artigos técnico-científicos nacionais e internacionais, dissertações de mestrado e teses de doutorado disponíveis em bases indexadas do *Scopus*, Plataforma da Capes, etc. Além de livros do acervo da Biblioteca Central e do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental (LARHENA) da UFPB.

✓ **Medição de vazão e precipitação**

As vazões foram medidas utilizando-se métodos simples adequados a cada tipo de captação, conforme Cabral da Silva (2011). Para poços rasos o procedimento adotado foi o descrito em Daker (1983). O método consistiu em extrair água do poço até que o seu nível interior descesse de uma altura Δa (m). Determinou-se em seguida o intervalo de tempo Δt (s) necessário para o nível subir novamente até à altura inicial. Sendo S (m²) a área da seção transversal do poço, a vazão Q (m³/s) foi expressa conforme a equação:

$$Q = \frac{S \cdot \Delta a}{\Delta t} \quad (1)$$

As vazões das nascentes captadas por meio de dreno com tubo foram quantificadas a partir de medições realizadas o mais próximo possível da surgência, pelo método volumétrico. Este método é aplicável nos casos de pequenas vazões e consiste na medição direta do volume de água em um recipiente de volume conhecido, onde o tempo gasto para o seu enchimento é marcado com o auxílio de um cronômetro digital. A vazão resultante é a razão entre volume coletado e o tempo medido no cronômetro para a água atingir a marca graduada indicadora do volume no recipiente. Em ambos, repetiu-se o procedimento três vezes, adotando-se a média como o valor final da vazão (CABRAL DA SILVA *et al.*, 2011).

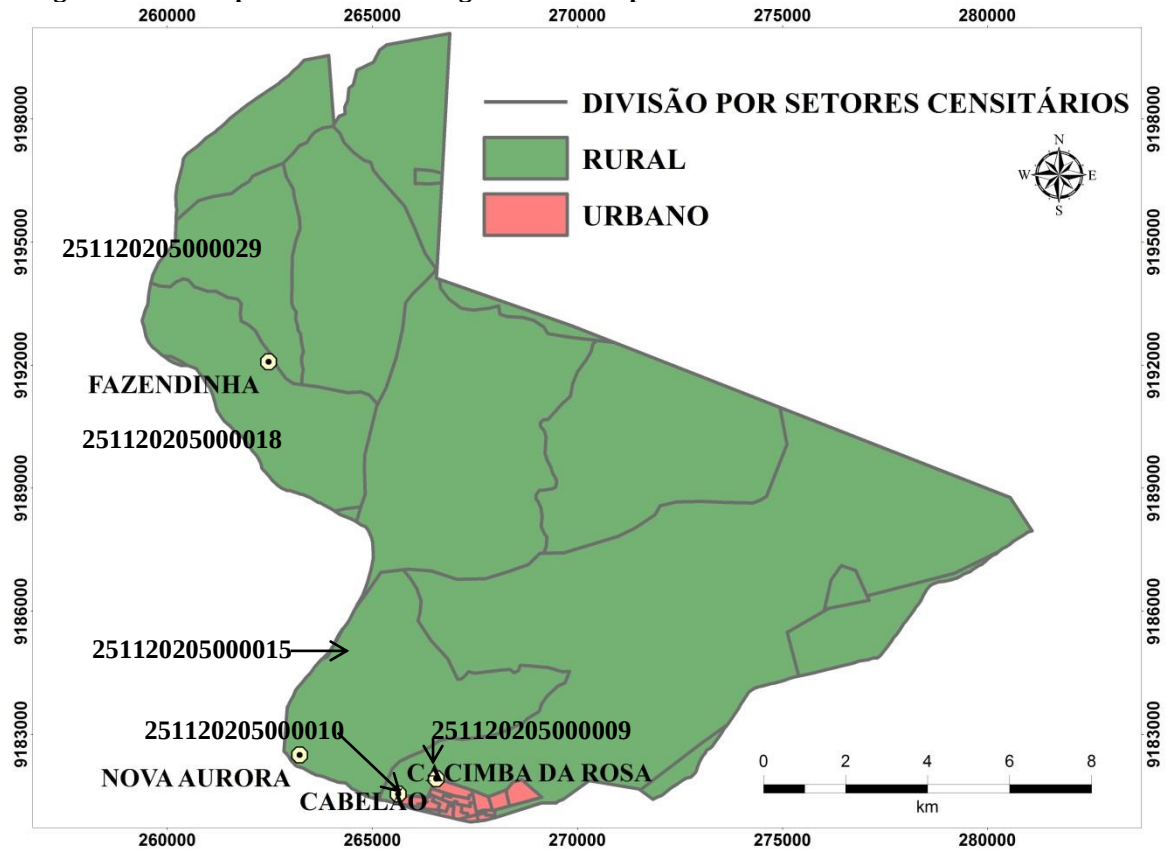
As precipitações foram medidas por meio de um pluviógrafo automático de báscula e armazenadas em um *datalogger*, instalados na comunidade Nova Aurora, e por um pluviômetro do tipo *Ville de Paris*, instalado na estação meteorológica da sede da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado da Paraíba (Emater/PB), no município de Pedras de Fogo. Essa estação da Emater/PB conta com dados históricos pluviométricos há alguns anos. Os dados do pluviógrafo automático foram obtidos a partir de 2010, quando da

sua instalação próximo à nascente Nova Aurora (Projeto Restauração das Nascentes do rio Gramame, Relatório Final/CNPq, 2012).

✓ Dados dos setores censitários

Os dados secundários foram oriundos do banco de informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referentes aos setores censitários disponibilizados sobre o município de Pedras de Fogo/PB. A partir do ponto georreferenciado de cada nascente foi possível coletar as informações disponibilizadas nesses setores (Figura 3.8) e tabuladas em uma planilha do *Excel* (Apêndice 2), que serviram para determinar a sustentabilidade de cada área circunvizinha às captações de água das nascentes estudadas.

Figura 3.8 Município de Pedras de Fogo/PB: divisão por setores censitários



Fonte: IBGE (2011).

Elaboração: Franklin Linhares (2013).

Verificou-se que um ou mais setores censitários exerciam influência direta nas nascentes pesquisadas e, dessa forma, extraíram-se as informações da base do IBGE (2011) que serviram também para determinar os indicadores de sustentabilidade propostos (Tabela 3.1). As principais variáveis utilizadas foram: domicílios ligados às redes de abastecimento de água e esgoto, quantidade de residências atendidas pelo sistema de coleta de resíduos sólidos,

destino dos resíduos, tipo de moradia, gênero, escolaridade e renda familiar. Essas variáveis em conjunto com as informações do projeto “Restauração das Nascentes do rio Gramame” e as observações em campo subsidiaram a determinação dos indicadores que foram agrupados em quatro categorias de dados: sociais, econômicos, ambientais e institucionais.

Tabela 3.1 Área e identificação dos setores censitários da pesquisa

NASCENTE	CODIGO DO SETOR	ÁREA (km ²)
Cabelão	251120205000010	0,2336
Cacimba da Rosa	251120205000009	0,1588
Nova Aurora	251120205000015	1,8107
Fazendinha	251120205000018	1,5180
	251120205000029	9,7651

Fonte: IBGE (2011).

Diante disso, definiram-se como variáveis desta pesquisa: densidade populacional, existência de posto de saúde e/ou hospital, doenças de veiculação hídrica, escolaridade da comunidade, tipo de moradia, renda familiar, benefícios sociais (programas do governo), produção, acesso a crédito (banco), vazão das nascentes, qualidade de água, infraestrutura de saneamento, qualidade do solo, uso de defensivos agrícolas, tipo de vegetação (nativa x exótica), prática de reflorestamento, participação cooperativa, execução de projetos, capacitação/treinamento, monitoramento das áreas.

✓ **Análise Experimental**

Foram realizadas as seguintes análises das amostras de água coletadas das nascentes estudadas: temperatura, pH, cor verdadeira, turbidez, condutividade, sólidos dissolvidos totais (SDT), alcalinidade, acidez, cloretos, dureza total, sulfato total, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), oxigênio consumido (OC), amônia, nitrito e nitrato.

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento, Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa, PB. Todos os procedimentos de coleta, acondicionamento e preservação das amostras, assim como as análises, foram realizados conforme métodos especificados em *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, editado pela *American Public Health Association APHA et al.* (2005). As análises bacteriológicas foram realizadas no Laboratório de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba. O período de amostragem para análise físico-química foi de janeiro de 2010 a dezembro de 2011. Já as análises bacteriológicas foram realizadas no período de 2010 a dezembro de 2011, pelo projeto “Restauração das Nascentes

do rio Gramame”. O Quadro 3.1 apresenta os métodos e equipamentos específicos utilizados para análise físico-química.

Quadro 3.1 Metodologia analítica adotada nas determinações dos parâmetros físico-químicos das águas das nascentes

PARÂMETROS	METODOLOGIA*
Temperatura (°C)	Termômetro de campo
pH (à 25°C)	Método eletrométrico
Cor verdadeira (mg Pt L ⁻¹)	Método colorimétrico
Turbidez (UNT)	Método turbidimétrico
Condutividade (µS/cm à 25°C)	Método condutimétrico
SDT (mg L ⁻¹)	Gravimétrico
Alcalinidade (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Titulação potenciométrica
Acidez (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Método titulométrico com indicador
Cloreto (mg L ⁻¹ Cl ⁻)	Método de Mohr (Argentométrico)
Dureza total (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	Titulação com EDTA
Sulfato total (mg L ⁻¹ SO ₄ ⁻)	Método turbidimétrico
DBO (mg L ⁻¹ O ₂)	Métodos dos frascos padrão e Winkler modificado pela azida sódica
OD (mg L ⁻¹ O ₂)	Método eletrométrico
OC (mg L ⁻¹ O ₂)	Método permanganato de potássio
Amônia (mg L ⁻¹ N-NH ₃)	Sonda multiparâmetros
Nitrito (mg L ⁻¹ N-NO ₂ ⁻)	Método sulfanilamida – etilmenodiamina
Nitrato (mg L ⁻¹ N-NO ₃ ⁻)	Sonda multiparâmetros

*APHA *et al.* (2005)

Com a conclusão do projeto de pesquisa, em janeiro de 2012, foi necessário dar continuidade às análises físico-químicas da água, visando aumentar o banco de dados sobre os padrões de qualidade da água das nascentes, no período de maio a outubro de 2012, em quatro campanhas para coleta de amostra de água. Nessa etapa fez-se uso de um receptor GPS, modelo *Garmin*, para espacialização das fontes produtoras de água pesquisadas. Também foram prosseguidas às medições de vazão com frequência mensal, durante o ano de 2012.

Consideraram-se para a análise dos resultados os padrões de qualidade de água doce, tanto da classe I como da II, estabelecidos pela Resolução nº 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) (BRASIL, 2005), pelo fato de ainda não ter sido realizado pelo órgão ambiental paraibano (Sudema), o enquadramento das nascentes citadas. Não foi considerada a classe especial da referida Resolução, haja vista que não são mantidas as condições naturais das nascentes, já que se trata de captações em poços ou com drenos construídos pela própria população usuária de suas águas.

Foi realizada a tabulação dos dados coletados para a análise ambiental dos resultados encontrados e suas inter-relações de forma a oferecer inferências úteis sobre a recuperação e conservação das nascentes estudadas no tocante à qualidade e sustentabilidade ambiental da produção de água na bacia hidrográfica do Gramame. Os resultados foram lançados em planilhas do Excel visando obter valores médios, mínimos, máximos e desvio padrão.

3.3 Cálculo do Índice de Sustentabilidade Ambiental

De acordo com o cenário da área de estudo e também a partir dos resultados obtidos do diagnóstico ambiental, das informações disponibilizadas nos setores censitários (IGBE, 2011) e ainda dos dados do projeto de pesquisa “Restauração das Nascentes do rio Gramame”, foram definidos 20 indicadores para compor o Índice de Sustentabilidade das áreas de captação de nascentes da bacia hidrográfica do rio Gramame (Quadro 3.2). Compõe a dimensão social 5 indicadores, 3 formam a dimensão econômica, 8 a dimensão ambiental e 4, a dimensão institucional.

Considerando os modelos apresentados no referencial teórico e recomendados pelos organismos internacionais e nacionais apresenta-se, a seguir, a composição do sistema indicadores para avaliação da sustentabilidade hidroambiental de áreas circunvizinhas às captações de água de nascentes da bacia hidrográfica do rio Gramame/PB.

Quadro 3.2 Composição do sistema de indicadores para avaliação da sustentabilidade hidroambiental de áreas circunvizinhas às captações de nascentes do rio Gramame/PB

CÓDIGO	ÍNDICE/TEMA	INDICADOR
INDICADORES – DIMENSÃO SOCIAL – IDS		
IDS-01	POPULAÇÃO	Densidade populacional
IDS-02	SAÚDE	Hospitais/PSF
IDS-03		Doenças de veiculação hídrica
IDS-04	EDUCAÇÃO	Escolaridade
IDS-05	HABITAÇÃO	Densidade domiciliar
INDICADORES – DIMENSÃO ECONÔMICA – IDE		
IDE-01	RENDA	Renda familiar
IDE-02	PRODUÇÃO AGRÍCOLA	Produção
IDE-03	CRÉDITO	Acesso a crédito
INDICADORES – DIMENSÃO AMBIENTAL – IDA		
IDA 01 IDA-02	PRODUÇÃO E QUALIDADE DE ÁGUA	Vazão das nascentes Qualidade de água (Coliformes, Cor, Cloretos, Nitrato, Amônia e DBO)
IDA-03	CHUVAS	Precipitação
IDA-04 IDA-05 IDA-06	SANEAMENTO	Coleta de resíduos Rede de esgoto Abastecimento de água
IDA-07	DEFENSIVO AGRÍCOLA	Uso de defensivo agrícola
IDA-08	VEGETAÇÃO	Flora nativa
INDICADORES – DIMENSÃO INSTITUCIONAIS – IDI		
IDI-01 IDI-02 IDI-03 IDI-04	PARTICIPAÇÃO INSTITUCIONAL	Participação cooperativa, associação, sindicato... Execução de Projetos Capacitação/treinamento Monitoramento das áreas
TOTAL DE INDICADORES		20

Fonte: Elaboração do Autor (2012)

A metodologia utilizada para obtenção do índice de sustentabilidade proposto foi baseada no trabalho de Calório (1997) e Daniel (2000), que apresentam equações matemáticas, tendo como produto final, gráficos tipo radar que permitem comparar de forma dinâmica todos os indicadores estabelecidos, sejam eles sociais, econômicos, ambientais e institucionais. Para o tratamento dos dados utilizou-se uma planilha eletrônica (Apêndice 2). Todos os passos para elaboração dessa planilha estão descritos a seguir.

✓ 1º Passo

Inicialmente, foi necessário padronizar todas as dimensões dos indicadores. Esse procedimento foi realizada para eliminar os efeitos de escalas e de unidades de medida, uma vez que elas se referem a indicadores diferentes. Esse procedimento assegurou que cada variável empregada no cálculo do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental – ISH tivesse o mesmo peso relativo. Para tanto, os dados são lançados na planilha eletrônica que calcula a média e o desvio padrão as dimensões (social, econômica, ambiental e institucional), de todos os indicadores. Então, utiliza-se a Equação 2, proposta por Calório (1997) e Daniel (2000).

$$vp_n = \frac{5 + (x_n - \bar{x})}{S} \quad (2)$$

Onde:

vp_n : valor padronizado do indicador;

x_n : dimensão real do indicador;

$\bar{x}$: valor médio de todos os indicadores;

S : desvio-padrão de todos os indicadores;

5 = constante para eliminar valores negativos ou iguais a zero.

✓ 2º Passo

Nessa etapa calcula-se o ângulo formado por dois indicadores adjacentes. Utiliza-se para tanto a Equação Trigonométrica 3.

$$\alpha = \frac{360}{N} \cdot \frac{\pi}{180} \quad (3)$$

Onde:

α : ângulo formado entre os eixos do gráfico radar, em radianos;

N: número de indicadores estudados;

π : valor de pi, adimensional.

✓ 3º Passo

De acordo com a metodologia utilizada é necessário, também, conhecer as áreas dos triângulos formados no gráfico tipo radar. Dois lados do triângulo têm medidas iguais à dimensão padronizada de indicadores adjacentes. Porém, é necessário conhecer o terceiro lado para que seja possível o cálculo da área do triângulo. Esse lado desconhecido é calculado a partir da Equação 4.

$$d_n = \sqrt{(vp_n)^2 + (vp_{n+1})^2 - 2(vp_n \cdot vp_{n+1}) \cos \alpha} \quad (4)$$

Onde:

d_n : lado desconhecido do triângulo;

vp_n : dimensão padronizada do indicador n;

vp_{n+1} : dimensão padronizada do indicador n+1;

$\cos \alpha$ = cosseno do ângulo α formado entre os eixos.

✓ 4º Passo

Após conhecer os três lados do triângulo calcula-se o semiperímetro, que serve de ferramenta para o cálculo da área. O semiperímetro é obtido a partir da Equação 5.

$$P_n = \frac{vp_n + vp_{n+1} + d_n}{2} \quad (5)$$

Onde:

P_n : semiperímetro do triângulo;

vp_n : dimensão padronizada do indicador n;

vp_{n+1} : dimensão padronizada do indicador n+1;

d_n : lado desconhecido do triângulo.

✓ 5º Passo

Após os cálculos, a área do triângulo é, então, calculada conforme a Equação 6.

$$S_n = \sqrt{P_n} (P_n - vP_n) \times (P_n - vP_{n+1}) \times (P_n - d_n) \quad (6)$$

Onde:

S_n : área do triângulo;

p_n : semiperímetro do triângulo;

vp_n : dimensão padronizada do indicador n ;

vp_{n+1} : dimensão padronizada do indicador $n+1$;

d_n : lado desconhecido do triângulo.

✓ 6º Passo

Os procedimentos são executados para todos os triângulos do gráfico e, ao final, as áreas dos triângulos são somadas para a obtenção do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental, calculado a partir da Equação 7, a seguir:

$$ISH = \sum_{n=1}^N S_n \quad (7)$$

Onde:

ISH: índice de sustentabilidade hidroambiental;

N : número de indicadores;

S_n : área dos triângulos.

Numa planilha do *Microsoft Excel* foram lançadas todas as equações. Assim, para cada área de nascente pesquisada foi criada uma sequência eletrônica para receber os dados coletados. Dessa forma, o cálculo por dimensão foi realizado somando-se as áreas dos triângulos relacionados com cada uma das dimensões (Social, Econômica, Ambiental e Institucional).

A programação da planilha iniciou-se na segunda guia, na qual existe uma leitura dos dados recebidos pela primeira. Em seguida, fez-se o cálculo da média e o desvio padrão de todos os valores reais de indicadores descarregados. Ainda na segunda guia, aplicou-se a Equação (2), para se obter o valor padronizado para todos os indicadores. Tornou-se conveniente calcular a média dos valores padronizados de cada indicador para que ao fim, fosse possível construir o gráfico dos valores médios padronizados.

A terceira guia da planilha foi programada para calcular o ângulo formado entre os valores padronizados dos indicadores adjacentes, por meio da Equação 3 e, em seguida, lendo-se os valores calculados na segunda guia calculou-se o lado desconhecido do triângulo utilizando a Equação 4. O semiperímetro do triângulo foi calculado na quarta guia, que apresenta os lados desconhecidos do triângulo calculado na guia anterior, através da aplicação da Equação 5. A quinta guia foi responsável por identificar os valores calculados na quarta guia e processar a Equação 6, que determinou a área do triângulo.

Para obter o índice de sustentabilidade de cada área de nascente estudada, conforme a metodologia apresentada, somou-se as áreas de todos os triângulos do gráfico tipo radar. A sexta guia foi responsável por calcular o índice de sustentabilidade hidroambiental. Isso foi realizado através da identificação dos valores das áreas dos triângulos calculados na quinta guia e somando-os para cada indicador encontrado.

De posse de todos os valores foram atribuídos pesos que vão de 0 a 1, conforme o nível de desempenho de cada indicador. O quadro 4.5 ilustra o corolário atribuído para todos os indicadores das dimensões analisados.

Tabela 3.2 Corolário da sustentabilidade

PESO/NÍVEL	DESEMPENHO
$0 \leq IS \leq 0,25$	INSUSTENTÁVEL
$0,25 \leq IS \leq 0,50$	INTERMEDIÁRIO
$0,50 \leq IS \leq 0,75$	QUASE SUSTENTÁVEL
$0,75 \leq IS \leq 1$	SUSTENTÁVEL

Devido à considerável quantidade de dados sobre os domicílios e os dados disponibilizados pelos setores censitários do IBGE, entendeu-se conveniente construir um gráfico tipo radar com os valores médios padronizados dos indicadores estabelecidos. O mesmo procedimento foi seguido quanto aos dados das vazões medidas e pluviosidade.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

“Perto de muita água, tudo é feliz”
(Guimarães Rosa)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 O Estudo Ambiental

➤ Nascente Cabelão

A nascente Cabelão, classificada como de encosta (Figura 4.1), está inserida às margens da cidade de Pedras de Fogo/PB. Essa região, há vinte anos, aproximadamente, era totalmente desabitada com o predomínio de vegetação e fauna nativas. Antes da implantação do sistema de abastecimento de água pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA) na região, essa nascente era uma fonte de água muito importante para grande parte da população da sede do município (COSTA, 2011).

Figura 4.1 Nascente Cabelão



Foto: Hamilcar J. A. Filgueira (2010).

Com o passar dos anos, o processo de ocupação em decorrência do crescimento da cidade trouxe uma série de problemas ambientais, ou seja, o nível de degradação da nascente que acompanhou o crescimento periurbano. Assim, foram evidenciadas as derrubadas de árvores para construção de habitações, o desenvolvimento de culturas agrícolas e a prática de pastoreio em busca da subsistência das famílias do seu entorno. O aumento da população gerou níveis de consumo incontrolado de água. Desta forma, o cenário foi favorável à poluição hídrica local.

O processo de degradação da qualidade da água e do solo foi potencializado pela inexistência de infraestrutura de saneamento na zona urbana e rural de Pedras de Fogo. O lançamento de efluentes sanitários *in natura* nas vias da cidade comprometeu o solo e os corpos aquáticos, além dos evidentes lançamentos de resíduos sólidos e a prática de lavagem de roupas às margens da fonte d'água. Nas proximidades da nascente Cabelão, por exemplo, existe uma casa de farinha que, em épocas de produção, lança o subproduto gerado no

processamento da mandioca (manipueira), material rico em matéria orgânica, na rede de drenagem natural que margeia a fonte.

O suprimimento de várias espécies da vegetação nativa, decorrente dos fatores citados e pelo crescimento da zona urbana em direção à zona rural, provocou a extinção de exemplares da fauna nativa. Assim, muitos animais abandonaram o *habitat* natural à procura de outros ambientes ou foram extintos por predadores, principalmente pelo homem. Conforme Costa (2011), várias aves foram caçadas pelos moradores da região para criação em cativeiro ou comercialização clandestina. O recurso gerado pelo comércio ilegal era somado à renda financeira de algumas famílias. A autora ainda afirma que além das aves, outros animais em extinção como a cutia (*Dasyprocta leporina*), a capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), o tatupeba (*Euphractus sexcintus*), entre outros eram caçados e consumidos.

O diagnóstico ambiental realizado revelou que a situação desta nascente é delicada visto que, além dos vários problemas existentes, surgiram outros fatores que potencializaram a degradação ambiental da área que deveria ser protegida, conforme prescrição do arcabouço legal brasileiro (BRASIL, 2012), pois foi construído um anel viário na zona de influência direta da nascente (Figura 4.2).

Figura 4.2 Construção de anel viário e a degradação ambiental da nascente cabelão



Fotos: Hamilcar J. A. Filgueira (2010).

Na obra de construção do anel viário foram realizados trabalhos de corte e aterro do solo, próximos à nascente Cabelão, o que ocasionou a extinção de um número significativo de indivíduos que compunham a vegetação da região, além de carrear nesse processo, vários nutrientes essenciais ao meio ambiente local e de comprometer a sua produção de água.

➤ **Nascente Cacimba da Rosa**

A Cacimba da Rosa é uma nascente pontual (Figura 4.3), que outrora era conservada e se destacava pela vegetação e fauna presentes, e era caracterizada pelo córrego de grande abundância hídrica. Por muitos anos esta nascente foi a principal fonte de água para parte da população do município de Pedras de Fogo/PB. Nessa época existiam poucos moradores na redondeza que conservavam a sua área de abrangência.

Figura 4.3 Nascente Cacimba da Rosa



Foto: Hamilcar J. A. Filgueira (2009)

Esta nascente fica próxima à Cabelão por isso, os problemas com o crescimento e avanço da população da sede do município em direção à zona rural, são semelhantes. Os novos moradores ocuparam a região que não tinha as mínimas condições de infraestrutura. Desenvolveram a prática de exploração da terra, por meio da agricultura de subsistência sem planejamento, além da atividade arcaica de pecuária e sem o controle técnico necessário.

Associado a todos essas características iniciou-se um processo rápido e descontrolado de degradação com o recorrente lançamento de resíduos sólidos e o descarte de efluentes sanitários às margens da captação da nascente, o que contribui para poluição e contaminação da água e do solo (COSTA, 2011). A maioria dos resíduos é oriunda do descarte de embalagens de material de limpeza (sabão em pó, alvejantes e outros). Além disso, igualmente para o que ocorre na nascente Cabelão, existe uma casa de farinha a montante e bem próxima à captação de Cacimba da Rosa (Figura 4.4), a qual contribui para o comprometimento da qualidade da água produzida, devido à manipueira que é lançada a céu aberto e que carrega consigo os resíduos sólidos existentes no local, em direção à fonte.

Figura 4.4 Casa de farinha (à esquerda) e via de descarte da manipueira em direção à nascente Cacimba da Rosa (à direita)



Fotos: José Dorivaldo F. Oliveira (2012).

Conforme informações dos moradores, a casa de farinha encontrava-se desativada por interdição da Superintendência de Administração do Meio Ambiente (Sudema) do estado da Paraíba. No entanto, alguns moradores afirmaram informalmente que a paralisação das atividades de processamento da farinha era decorrente da falta de matéria prima (mandioca).

A Figura 4.5 ilustra o anel viário construído e que influencia diretamente nas nascentes Cabelão e Cacimba da Rosa. Essa construção contemplou a área localizada a jusante e muito próxima das nascentes. Como em toda obra, a execução do anel viário gerou impactos ambientais, como: supressão de indivíduos da vegetação local, mudança de *habitat* de algumas espécies nativas, como também a possibilidade de alteração no fluxo da vazão da nascente, dentre outros.

Figura 4.5 Construção do anel viário a jusante de nascente Cacimba da Rosa



Fotos: Hamilcar J. A. Filgueira (2010).

Como atividade do projeto “Restauração das nascentes do rio Gramame” foi feito o cercamento da nascente Cacimba da Rosa. Apesar de a legislação ambiental vigente prescrever um raio de proteção de 50m, o proprietário da área autorizou o procedimento desde

que fosse respeitado um raio de apenas 25 metros. Constatou-se ainda, que a várias estacas da cerca foram derrubadas para a entrada de animais e caminhões que utilizam a água da fonte. No diagnóstico visualizou-se a entrada de animais e pessoas utilizando a nascente para banhar-se, além da prática de lavagem de roupas. Percebe-se assim que, mesmo com a dificuldade para entrar no local, após a construção da cerca, existem problemas da ordem de educação ambiental e de gestão pública dos recursos hídricos na região.

➤ **Nascente Nova Aurora**

Esta nascente é do tipo difusa e, quando comparada as demais deste estudo, é certamente a mais importante, pois é a nascente propriamente dita do rio Gramame, o rio principal da bacia hidrográfica que leva o seu nome (Figura 4.6).

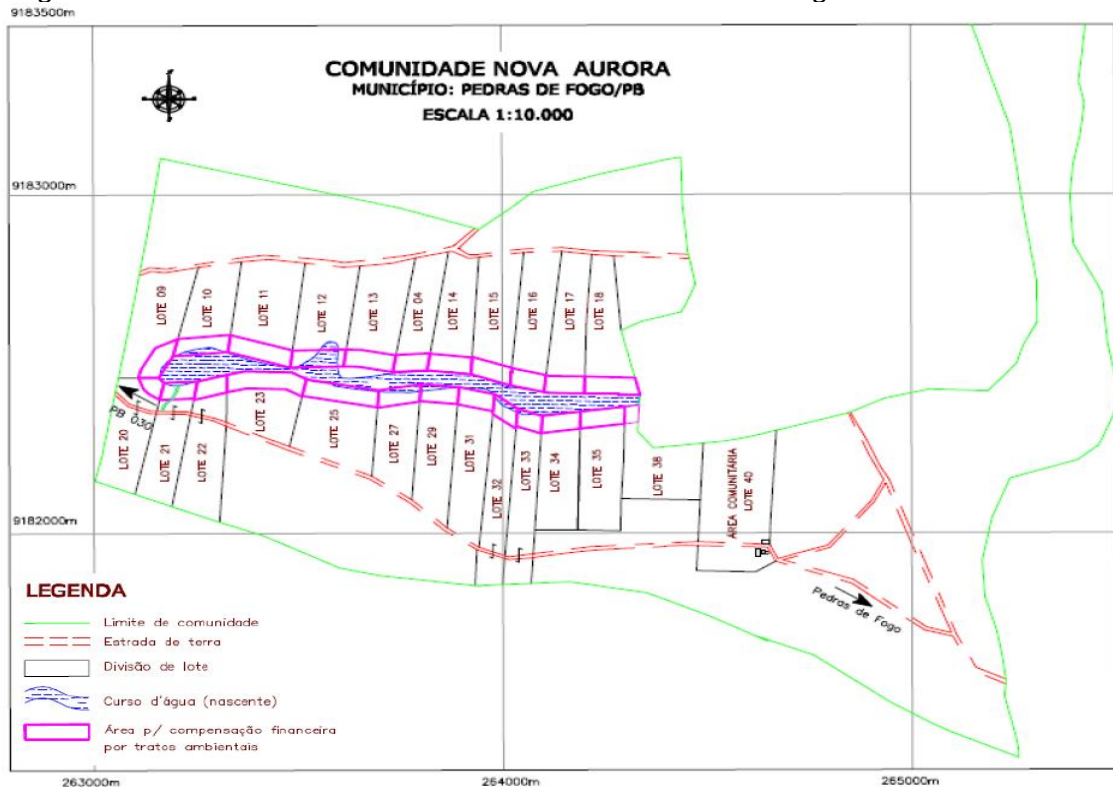
Figura 4.6 Nascente Nova Aurora



Foto: Hamilcar J. A. Filgueira (2010)

Segundo os agricultores da região, toda a área ao redor da nascente era de fazenda de nome Nova Aurora. A flora nativa fazia parte do ambiente e protegia a fonte que à época se encontrava em perfeito estado de conservação, com variedades florestais e animais, ou seja, sem qualquer intervenção humana. Conforme Costa (2011), com o passar dos anos, a fazenda foi desmembrada e vendida para o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra), que instalou um assentamento rural (Figura 4.7). A partir de então, a fonte passou a ser conhecida como a nascente da comunidade rural de Nova Aurora.

Figura 4.7 Assentamento Comunidade Nova Aurora e a área de abrangência da nascente



Fonte: Incra/PB adaptado por Limeira et al. (2011)

O Incra loteou a fazenda e, como os usos da terra se diferenciaram dos objetivos, a nascente passou a sofrer algumas consequências ambientais e muitas delas de caráter irreversíveis. São vinte e quatro (24) lotes nas suas margens e que têm influência direta na área da nascente, resultando na supressão de vegetação nativa, introdução da agricultura de subsistência (milho, arroz e feijão) e da “lavoura branca” (mandioca, batata doce e inhame) sem acompanhamento técnico, monocultura da cana-de-açúcar, uso inadequado da água, lançamento de resíduos domésticos gerando poluição hídrica, além do uso de agrotóxicos e a introdução de animais como bovinos, caprinos, entre outros. Destacam-se os animais tipo bovino por compactar e destruir as propriedades químicas e físicas do solo e por retirar as riquezas necessárias ao bom estabelecimento e desenvolvimento da vegetação.

Conforme a pesquisa realizada por Costa (2011), a fauna original da região foi desaparecendo à medida que o seu ambiente natural foi transformado. Animais da fauna nativa buscaram novos ambientes propícios para o seu estabelecimento e muitos deles como tatupeba (*Euphractus sexcintus*), preá (*Cavia aperea*) e tejuçu (*Tupinambis merianae*), foram caçados pelos moradores e produtores rurais do assentamento.

➤ Nascente Fazendinha

A nascente Fazendinha é pontual e apresenta uma característica peculiar, pois está mais bem protegida pela vegetação formada por exemplares de árvores de aparência centenária (Figura 4.8). Ela foi considerada como referência, quando comparado o estado ambiental das demais nascentes deste estudo. De acordo com o histórico narrado pelos moradores locais existia na área um engenho de moagem da cana-de-açúcar, de funcionamento intenso e duradouro, há aproximadamente quarenta anos. Mesmo em atividade por muitos anos, o proprietário do engenho protegeu todo o meio ambiente nas proximidades da nascente, buscando desta forma a sua conservação. Após a desativação do engenho, o terreno foi adquirido pelo Incra para a instalação de um assentamento rural, sendo denominado de comunidade Fazendinha.

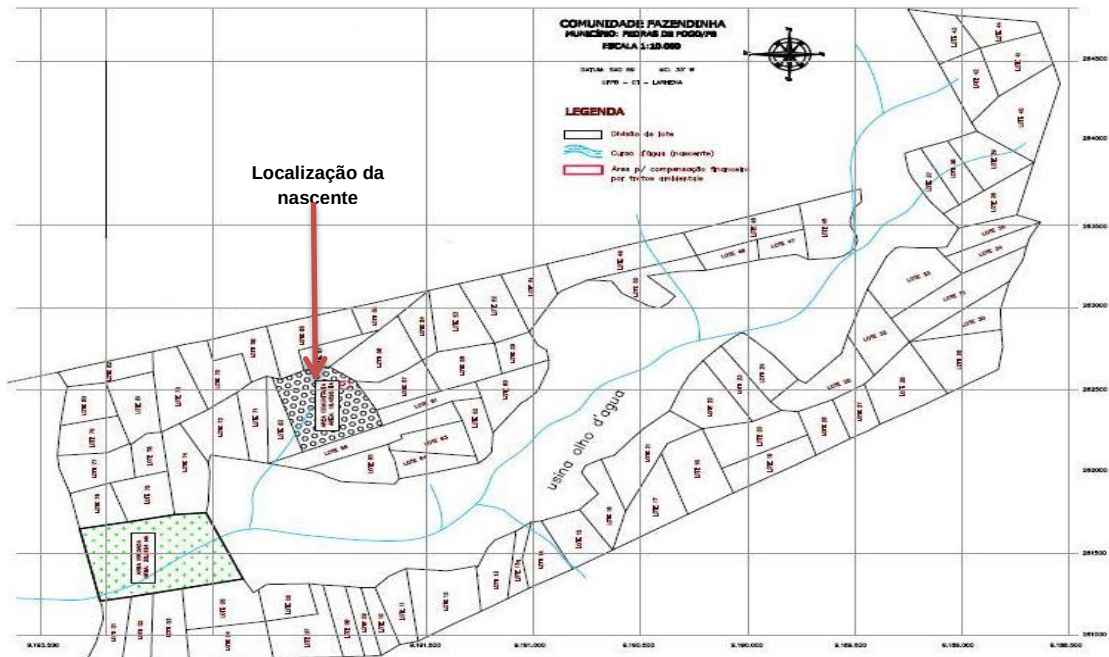
Figura 4.8 Nascente Fazendinha



Fotos: (a) Hamilcar J. A. Filgueira (2009) e (b) Adriana Moura (2012)

Outro ponto relevante a ser destacado dessa nascente é o fato de ser um dos primeiros assentamentos do Incra no município de Pedras de Fogo (Figura 4.9). Ressalta-se que, apesar dos diversos produtores rurais que se instalaram nos lotes, cada um com os seus propósitos e objetivos para o uso do solo, a vegetação do entorno da nascente foi mantida não havendo a necessidade de medidas urgentes de reflorestamento.

Figura 4.9 Assentamento Comunidade Fazendinha e área de abrangência da nascente



Fonte: Incra/PB adaptado por Limeira *et al.* (2011)

Essa Área de Preservação Permanente (APP) encontra-se protegida no que diz respeito à existência de espécies florestais, porém muito degradada ambientalmente, devido a alguns indícios de intervenção humana encontradas no local. Constatou-se, por exemplo, que a prática de lavagem de roupas é comum e são descartadas muitas embalagens de produtos de limpeza no meio ambiente o que, pode contribuir para alteração da qualidade do solo e da água.

4.2 Determinação e Análise dos Índices e Indicadores por Dimensão

Para a determinação e análise do Índice de Sustentabilidade Hidroambiental das áreas circunvizinhas às captações de água das nascentes do rio Gramame, consideraram-se o cumprimento da legislação vigente, as informações da comunidade local sobre o desenvolvimento sustentável, a avaliação do estado e o funcionamento do sistema ambiental local.

4.2.1 Índice de sustentabilidade social (ISS)

A metodologia adotada permitiu calcular a sustentabilidade hidroambiental para cada indicador da dimensão social: densidade populacional, densidade habitacional, escolaridade,

doenças de veiculação hídrica e hospitais/PSF. Então, a Tabela 4.1 apresenta o resultado do cálculo para todas as áreas de nascentes estudadas.

Tabela 4.1 Índices da dimensão social das áreas circunvizinhas às nascentes

INDICADORES SOCIAIS	NASCENTES			
	Cacimba da Rosa	Cabelão	Nova Aurora	Fazendinha
Densidade populacional	160,242	159,439	161,849	161,849
Densidade habitacional	161,849	161,849	161,045	161,045
Escolaridade	161,045	161,849	161,045	160,242
Doenças veiculação hídrica	159,439	159,439	161,849	161,045
Hospitais/PSF	159,439	159,439	159,439	159,439

Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Legenda:

SUSTENTÁVEL	QUASE SUSTENTÁVEL	INTERMEDIÁRIO	INSUSTENTÁVEL
-------------	-------------------	---------------	---------------

Dessa forma, o desempenho de todos indicadores variaram conforme à realidade de cada área pesquisada e retratam o cenário da sustentabilidade social dos setores censitários de influência para cada nascente.

Para estudar os indicadores da dimensão social foi necessário compreender a relação do homem *versus* natureza. Essa discussão está pautada na promoção do bem-estar e qualidade de vida dos habitantes das áreas estudadas, bem como nas questões de preservação e conservação do meio ambiente que são influenciados e/ou impactados por ações antrópicas. Então, apresenta-se a seguir a análise do resultado obtido para cada indicador norteador da dimensão social.

✓ Densidade Populacional

Determinar o índice referente à densidade populacional de cada setor censitário foi importante para correlacioná-lo aos demais indicadores das quatro dimensões pesquisadas neste estudo. A quantidade de habitantes por quilômetro quadrado nas áreas estudadas revelou que a pressão sobre as nascentes difere entre si. A Tabela 4.2 apresenta a densidade demográfica dos setores censitários a partir dos dados disponibilizados pelo IBGE (2011).

Tabela 4.2 Nascentes por setor censitário e a densidade demográfica

Nascente	Código do Setor	Área (km ²)	População	Densidade (hab./km ²)
Cabelão	251120205000010	0,23	2110	9,032
Cacimba da Rosa	251120205000009	0,15	1121	7,057
Fazendinha	251120205000018	1,81	2001	0,081
	251120205000029	1,51		
Nova Aurora	251120205000015	9,76	553	0,031
TOTAL		13,46	5.785	16,201

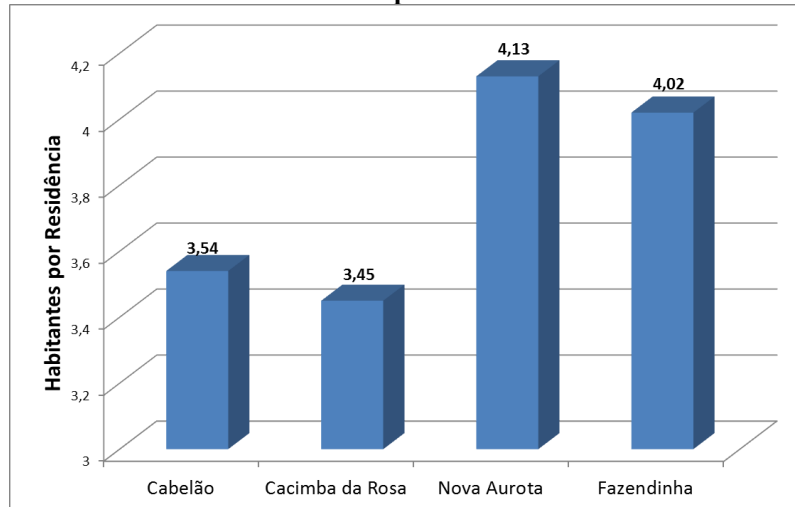
Fonte: IBGE (2011)

Percebe-se que a área circunvizinha à nascente Cabelão tem a maior densidade, ou seja, 9,032 hab./km², seguida de Cacimba da Rosa com 7,057 hab./km². Essas duas nascentes periurbanas são as que sofrem mais pressão por estarem numa zona na qual existe a maior concentração de pessoas, o que justificou o desempenho insustentável e intermediário, respectivamente. Já as áreas das nascentes Nova Aurora e Fazendinha, situadas em assentamento rural, apresentaram índices mais sustentáveis pela baixa densidade populacional, isto é, menor do que 1 hab./km².

Assim, quanto maior a densidade populacional, mais resíduos sólidos e efluentes sanitários podem ser gerados. Essa realidade tem sido verificada nas nascentes estudadas, o que é motivo de preocupação para a pesquisa, pois nessas áreas inexistem a infraestrutura sanitária para coleta, transporte e tratamento desses resíduos. No município de Pedras de Fogo, conforme as informações fornecidas pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, além de apenas 15% da malha urbana possuir rede coletora de efluentes domésticos, não existe um sistema de tratamento adequado. Assim, os efluentes devem ser descartados em algum dos corpos d'água existentes na região, ou simplesmente, lançados *in natura* no solo.

✓ Densidade Domiciliar

A partir dos dados do IBGE (2011), foi calculado o valor da densidade de habitantes por residência de cada setor censitário estudado (Gráfico 4.1). As áreas em torno das nascentes que ficam nos assentamentos rurais Nova Aurora e Fazendinha apresentaram os maiores valores com 4,13 e 4,02 habitantes/residência, respectivamente. Nessa análise foi levado em conta o tamanho das residências, que na sua maioria, têm em média cinco cômodos.

Gráfico 4.1 Densidade domiciliar por setor censitário

Fonte: IBGE (2011).

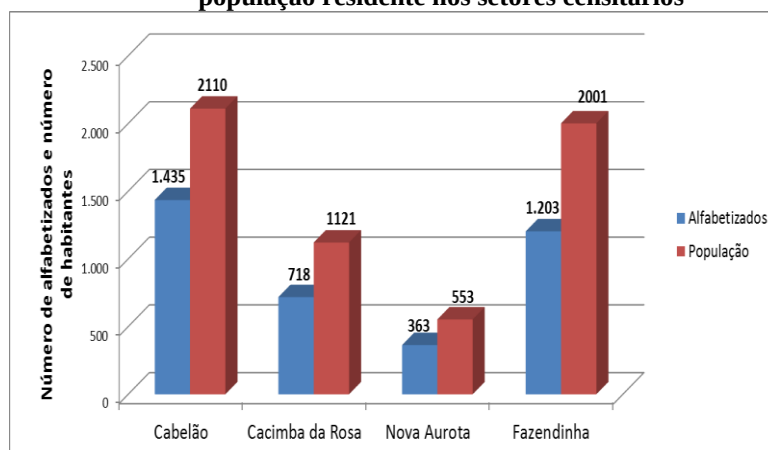
Esperava-se que as maiores densidades ocorressem nas residências localizadas na zona periurbana da cidade de Pedras de Fogo. No entanto, foi a área entorno da nascente Cacimba da Rosa que apresentou o melhor desempenho do índice, revelando a situação mais sustentável pela distribuição de apenas 3,45 hab./residência, seguida da nascente Cabelão, com uma densidade também baixa de 3,54 hab./residência.

✓ **Escolaridade**

Atingir a sustentabilidade a partir de indicadores de taxa de analfabetismo para os municípios brasileiros é um desafio constante e necessita de políticas públicas para investimentos em educação, para transformar os cenários existentes principalmente, em zonas rurais. Assim, faz-se necessário investimento na economia local, valorização cultural e estímulo à prática de novas tecnologias.

Ao levantar o quantitativo de pessoas alfabetizadas por setor censitário pesquisado, constatou-se que, do total de habitantes de cada setor, obtém-se um percentual médio de 66%, isto é, a escolaridade para todas as áreas do entorno das nascentes é bastante representativa no sentido de demonstrar a sustentabilidade local quanto a esse indicador. O Gráfico 4.2 ilustra os dados tabulados pelo IBGE (2011) e revelam que o menor desempenho do índice de sustentabilidade (intermediário) para este indicador foi o setor da nascente da comunidade Fazendinha, correspondendo a um percentual de 60% do total de alfabetizados.

Gráfico 4.2 Distribuição de habitantes alfabetizados por população residente nos setores censitários



Fonte: IBGE (2011).

Quanto ao gênero dos moradores alfabetizados, revelou-se no estudo, que o percentual de mulheres alfabetizadas é superior ao de homens (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 Distribuição de alfabetizados por gênero e setor censitário

NASCENTE	Homens	Percentual	Mulheres	Percentual
Cabelão	680	47%	755	53%
Cacimba da Rosa	320	45%	398	55%
Nova Aurora	173	52%	190	48%
Fazendinha	565	47%	638	53%

Fonte: IBGE (2011).

No assentamento Nova Aurora existe uma escola em ensino fundamental e médio que é atuante na comunidade. Os alunos são orientados sobre questões do meio ambiente, preservação de áreas de proteção permanente, como as nascentes, e outras questões que envolvem ética e cidadania. Este fato deve ser valorizado, pois as crianças e adolescentes que estão em formação recebem ensinamentos e podem ser multiplicadores, além de influenciar os pais das diversas famílias assentadas no local.

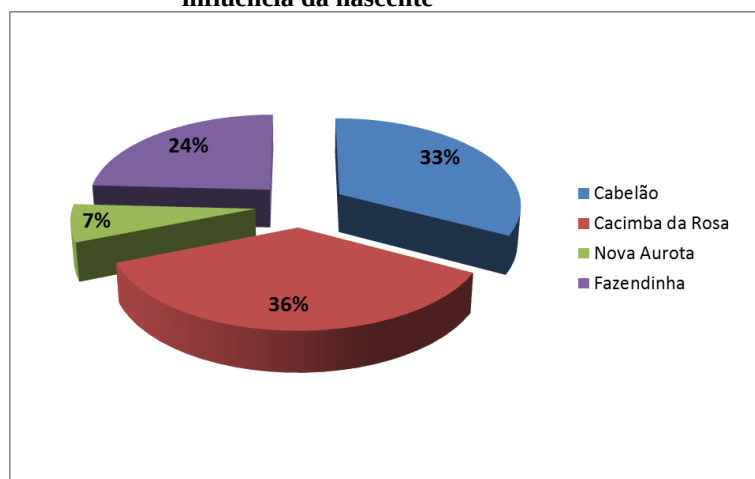
✓ Doenças de Veiculação Hídrica

A falta de infraestrutura sanitária adequada nas cidades é o principal fator para a disseminação de patologias transmitidas pela água. A solução para essa problemática é o tratamento da água e a instalação de equipamentos públicos de coleta, transporte e tratamento de águas residuárias. A adequada disposição de resíduos sólidos e efluentes domésticos pode reduzir as doenças de veiculação hídrica, mortalidade infantil, gastos com as doenças,

aumentar a longevidade das pessoas e sua produtividade, tendo como consequência, o aumento da sua renda.

Conforme os dados da Prefeitura de Pedras de Fogo (PMPF) foram registrados 1.104 e 1.012 casos de diarreias agudas nos anos de 2006 e 2008, respectivamente, em todo o município, o que mostrou a fragilidade do sistema local de saúde. Para o ano de 2012, o extrato dos dados da Coordenação Epidemiológica da Secretaria de Saúde do município, referentes às áreas de influência direta às nascentes periurbanas e rurais estão expressos no Gráfico 4.3.

Gráfico 4.3 Incidência de diarreias agudas por área de influência da nascente



Fonte: Vigilância Epidemiológica – PMPF (2012).

Verifica-se que a incidência de diarreias nas áreas periurbanas é maior, tendo sido registrado nas proximidades das nascentes Cabelão e Cacimba da Rosa 69% do total dos casos, justificando os menores índices de sustentabilidade registrados. As nascentes Nova Aurora e Fazendinha são menos visitadas pelos moradores para a prática de banhos (lazer), o que não ocorre na fonte Cacimba da Rosa, onde crianças e adultos tomam banho ao mesmo tempo que os animais são lavados.

Por outro lado, destaca-se que, conforme as informações disponibilizadas pela Vigilância Epidemiológica da Secretaria Municipal de Saúde de Pedras de Fogo, muitos moradores da zona rural não procuram atendimento no PSF para orientação médica, o que pode justificar, também, o percentual baixo de casos registrados de doenças diarreicas no entorno das nascentes Fazendinha e Nova Aurora. Na maioria das vezes, esses moradores solucionam as infecções gastrointestinais seguidas de diarreias por meio de soro caseiro, chás de ervas medicinais e crendices tradicionais. Assim, os dados, em verdade, não refletem a quantidade de pessoas que foram acometidas por doenças de veiculação hídrica e sim a

quantidade de enfermos que procuraram atendimento ambulatorial para solucionar quadros de diarreias, enterites e gastroenterites.

Ressalta-se nesse contexto que não se pode atribuir o quadro clínico (diarreias) à qualidade da água consumida pelos moradores. São apenas suspeitas de que a contaminação da água consumida ocorre por bactérias do grupo coliformes, provocando doenças gastrointestinais. Essas infecções também podem decorrer do mau acondicionamento de alimentos, higienização pessoal e da falta de infraestrutura sanitária.

✓ **Hospitais e Programas de Saúde da Família (PSF)**

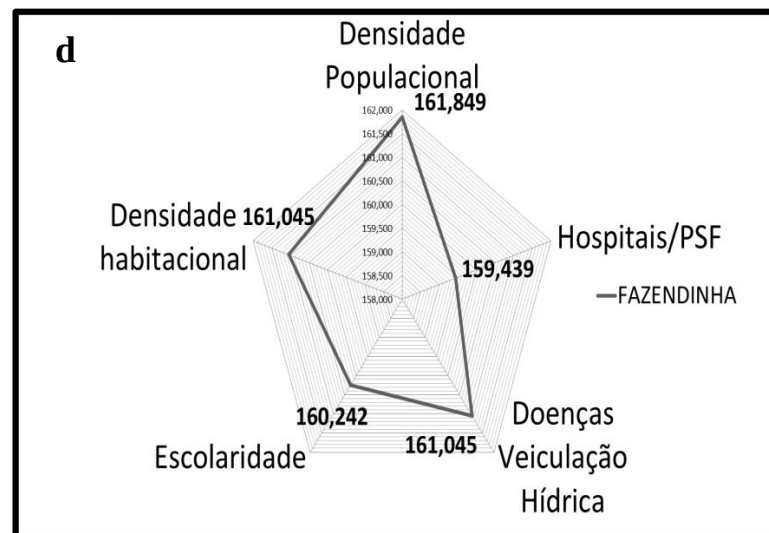
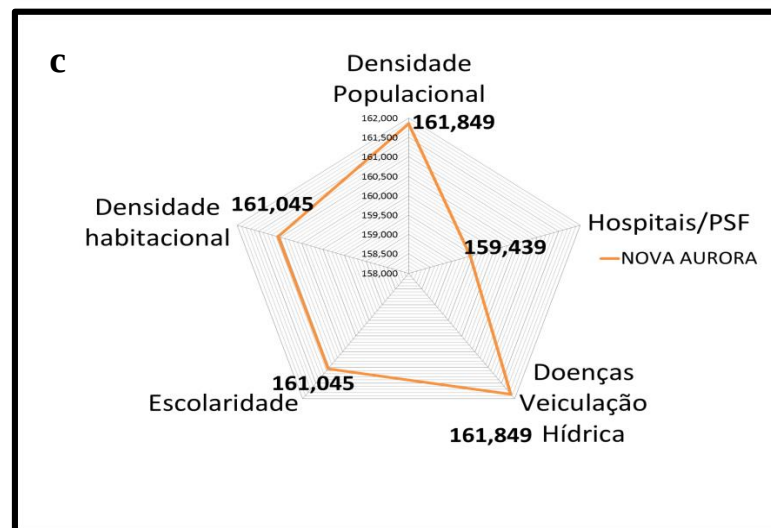
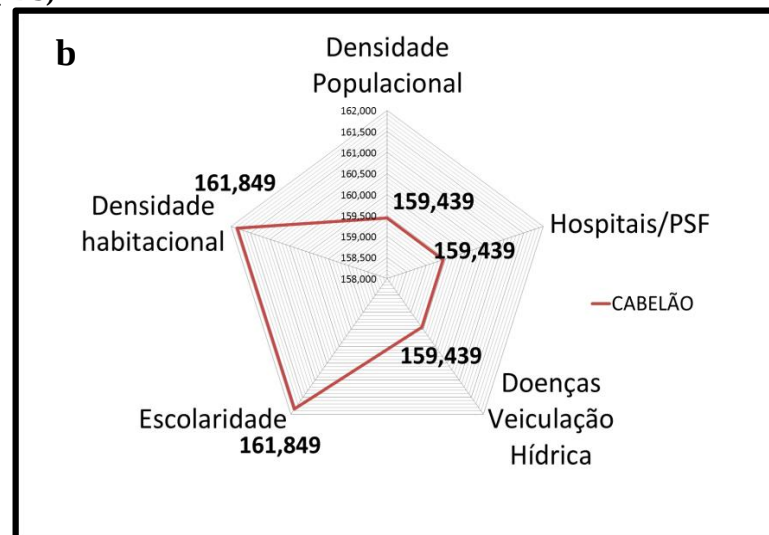
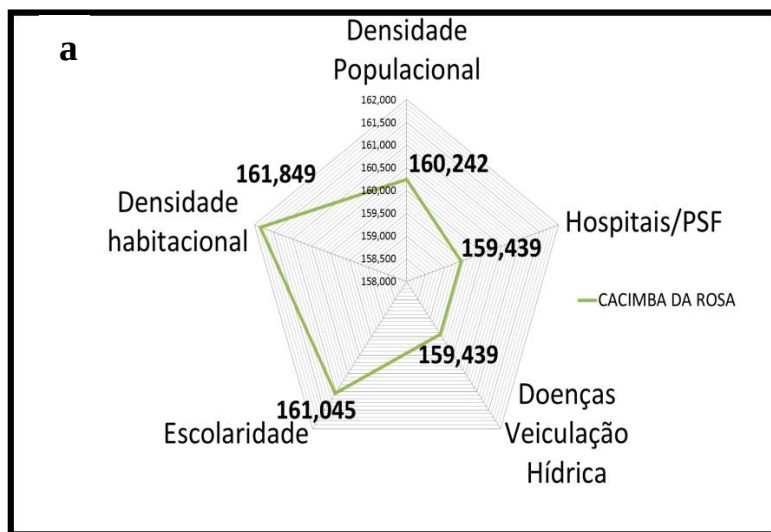
Os investimentos para a prevenção de doenças com o bom funcionamento da rede hospitalar e de postos médicos são essenciais para aumentar os índices de atenção à saúde. Entende-se que a promoção à saúde das comunidades é um grande instrumento ao avanço da sustentabilidade local.

Para que as políticas públicas consigam atingir o bom atendimento à saúde da população é necessário quebrar paradigmas para ultrapassar as dificuldades fazendo com que as pessoas vivam de forma saudável, tendo disponibilidade de serviço médico hospitalar eficiente e eficaz, para o controle de doenças que, muitas vezes, acometem a camada menos favorecida, podendo levar vários moradores a óbito.

O município de Pedras de Fogo disponibiliza um hospital municipal para atender a demanda das comunidades. Além disso, nas áreas pesquisadas existe o atendimento de profissionais do Programa de Saúde da Família (PSF). Dessa forma, os moradores do centro urbano, ou seja, áreas do entorno das nascentes Cabelão e Cacimba da Rosa, têm a vantagem de estarem próximos ao hospital da sede municipal. Contudo, as comunidades rurais, Nova Aurora e Fazendinha são atendidas em suas próprias residências pelos agentes de saúde que, quando entendem da necessidade de um atendimento mais detalhado, encaminham o morador ao hospital do município.

A seguir, o Gráfico 4.4 apresenta uma melhor visualização do resultado final da sustentabilidade dos indicadores da dimensão social. A interpretação do gráfico de radar parte do pressuposto de que o somatório gerado por meio da planilha eletrônica do *Excel*, alimentada com valores ponderados e normatizados, fornece a área de vários triângulos, sendo que, quanto maior essa área, maior a sustentabilidade do indicador.

Gráficos 4.4 Desempenho dos indicadores de sustentabilidade da dimensão social (IDS)



Fonte: Pesquisa de Campo (2012)

Os indicadores que demonstraram o melhor desempenho foram: densidade populacional (161,849), na zona rural das comunidades Nova Aurora e Fazendinha; densidade domiciliar (161,849), nas áreas em torno das nascentes Cacimba da Rosa e Cabelão; e doenças de veiculação hídrica (161,849) no setor censitário que influencia diretamente à nascente da Comunidade Nova Aurora. Contudo, para toda área de estudo, constatou-se que o indicador Hospitais/PSF – Programa de Saúde da Família obteve o pior desempenho (159,439), seguido de doenças de veiculação hídrica, com o mesmo valor. Esses valores indicam um estado de alerta nessas áreas. Entende-se que o poder público deve dar uma maior atenção para esses indicadores visando uma melhor sustentabilidade social e um maior bem-estar dos moradores da região.

O indicador escolaridade das áreas das nascentes Cacimba da Rosa (161,045) e comunidade Nova Aurora (161,045) apresentaram corolários que indicam um desempenho quase sustentável. Contudo, o indicador densidade populacional (160,242) para Cacimba da Rosa revelou um índice intermediário de sustentabilidade, seguido da área da comunidade Fazendinha que obteve o mesmo valor (160,242) para o indicador escolaridade.

A Tabela 4.4 apresenta o somatório das áreas dos triângulos bem como os índices finais da sustentabilidade da dimensão social encontrada para cada área circunvizinha às captações de nascente.

Tabela 4.4 Áreas dos triângulos e índices finais da sustentabilidade social

NASCENTES	ÁREA DOS TRIÂNGULOS	ÍNDICE FINAL DE SUSTENTABILIDADE
Cacimba da Rosa	34774,893	160,402
Cabelão	34774,893	160,403
Nova Aurora	35054,054	161,045
Fazendinha	34913,538	160,724

Fonte: Pesquisa de campo (2012).

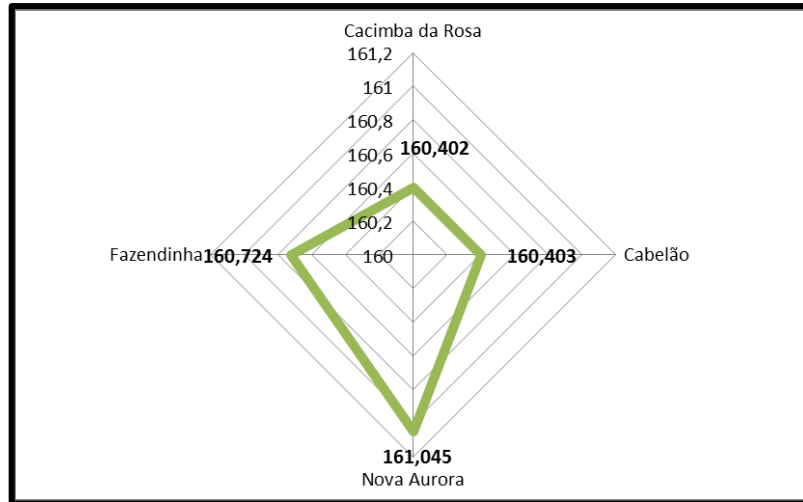
Legenda:

SUSTENTÁVEL	QUASE SUSTENTÁVEL	INTERMEDIÁRIO	INSUSTENTÁVEL
-------------	-------------------	---------------	---------------

Pode-se afirmar ainda que, os índices de sustentabilidade social revelaram o melhor desempenho da área em torno da comunidade Nova Aurora, com a média simples dos valores dos índices revelando a maior área do triângulo no gráfico de radar para esta dimensão, ou seja, atingiu o corolário quase sustentável. Verifica-se ainda que os índices das áreas de estudo em torno das nascentes Cacimba da Rosa, Cabelão e Fazendinha tiveram desempenho

sustentável intermediário. O gráfico 4.5 dá melhor visualização ao comportamento dos índices finais.

4.5 Índice final de sustentabilidade social das áreas de estudo



Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Então, percebe-se, mais uma vez que, o entorno da nascente Nova Aurora apresentou o maior desempenho, ou seja, maior área do triângulo com a maior sustentabilidade da dimensão social pesquisada.

4.2.2 Índice de sustentabilidade econômica (ISE)

Para a dimensão econômica a Tabela 4.5 apresenta o resultado do cálculo final da sustentabilidade dos indicadores: renda familiar, acesso a crédito e produção para todas as nascentes estudadas.

Tabela 4.5 Índices da dimensão econômica das áreas circunvizinhas às nascentes

INDICADORES ECONÔMICOS	NASCENTES			
	Cacimba da Rosa	Cabelão	Nova Aurora	Fazendinha
Renda Familiar	138,835	138,159	139,547	136,771
Acesso a crédito	139,547	139,547	139,547	139,547
Produção	137,465	137,465	139,547	139,547

Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Legenda:

SUSTENTÁVEL	QUASE SUSTENTÁVEL	INTERMEDIÁRIO	INSUSTENTÁVEL
-------------	-------------------	---------------	---------------

Essa dimensão tem uma importância marcante para o entendimento e o alcance dos resultados pretendidos neste estudo. Os impactos gerados pelas questões econômicas foram levantados visando revelar as pressões dos indicadores para a dinâmica das áreas estudadas.

Os três indicadores que foram pesquisados baseiam-se na renda familiar, produção e acesso a crédito/financiamento para desenvolvimento das atividades agrícolas.

✓ Renda familiar

A análise da renda familiar dos moradores que compõem as áreas do entorno das nascentes apresentou valores preocupantes e revelaram o baixo nível de poder de compra das pessoas. Esse fato é mais acentuado nas zonas afastadas de grandes centros urbanos e, notadamente, de famílias assentadas em áreas rurais. A Tabela 4.6 apresenta os dados referentes à renda total por setor censitário e por família.

Tabela 4.6 Renda per capta por setor censitário e por família

Nascente	Código do Setor	Famílias	Renda por Família (R\$)	Renda total (R\$)
Cabelão	251120205000010	596	281,70	594.379,00
Cacimba da Rosa	251120205000009	325	245,04	274.688,00
Nova Aurora	251120205000015	134	335,72	185.653,00
Fazendinha	251120205000018	498	42,52	85.073,00
	251120205000029			
TOTAL		1.553	904,98	1.139.973,00

Fonte: IBGE (2011).

Verifica-se na Tabela 4.6 que os setores censitários do entorno da comunidade Fazendinha são os que apresentam menor (apenas R\$ 42,52 reais por família) poder aquisitivo dentre todas as outras áreas, o que justificou o baixo desempenho do índice calculado para esse indicador. Parte dessa renda familiar é oriunda dos programas sociais do Governo Federal (Bolsa Família e outros). Segundo os dados da Secretaria de Agricultura do município de Pedras de Fogo, todos os moradores dos assentamentos são cadastrados em programas sociais.

Ainda pela Tabela 4.6 observa-se que o setor censitário circunvizinho ao assentamento Nova Aurora detém a maior renda familiar, com R\$ 335,72 por família. Os outros dois setores (Cabelão e Cacimba da Rosa) também apresentaram renda familiar baixa com menos de R\$ 300,00, cada uma. Esses dados são alarmantes visto que essa renda tem influência na qualidade de vida e bem-estar das pessoas. Ressalta-se que, apesar dos índices calculados demonstrarem melhor desempenho da sustentabilidade para as áreas periurbanas, verificou-se que as famílias não recebem mensalmente, sequer, o valor igual ou superior ao salário mínimo vigente no Brasil, que era de R\$ 622,00 (seiscentos e vinte e dois reais), no ano de 2012.

✓ **Produção**

A produção dos assentamentos Nova Aurora e Fazendinha, bem como das áreas da zona rural próximas à Cabelão e Cacimba da Rosa é destinada ao Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), pois a Prefeitura Municipal de Pedras de Fogo compra 30% de tudo que é produzido pelos agricultores. Embora o quantitativo da produção por lotes e áreas em torno das nascentes não tenha sido disponibilizado, de acordo com a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Paraíba (Emater/PB) essa produção atende também à demanda de projetos como o Compra Direta, que é uma garantia de venda de mercadoria produzida, ou seja, nesta modalidade os agricultores podem vender até o valor de R\$ 4.500,00 (quatro mil e quinhentos reais) da sua safra aos dois municípios conveniados, Pedras de Fogo e João Pessoa, bem como ao PNAE.

O uso do solo para a agricultura familiar gera uma produção capaz de manter o abastecimento das escolas municipais, direcionando parte da safra para dentro do município e ainda, escoar outra parte para a capital da Paraíba. Esse cenário é possível, primeiro pela qualidade do solo, disponibilidade de água para irrigação e ainda pelas linhas de crédito que os agricultores têm acesso.

✓ **Acesso a Crédito**

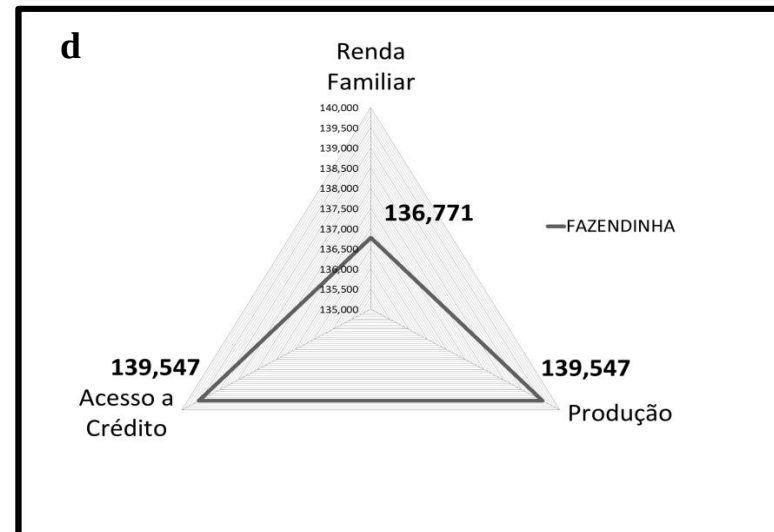
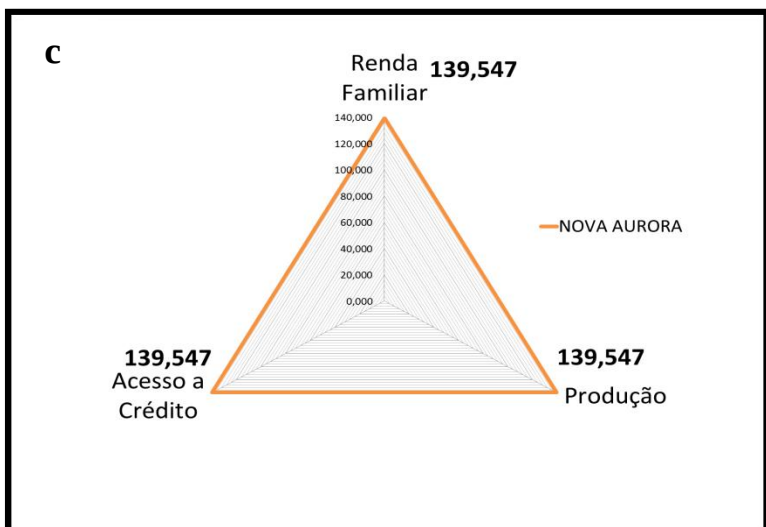
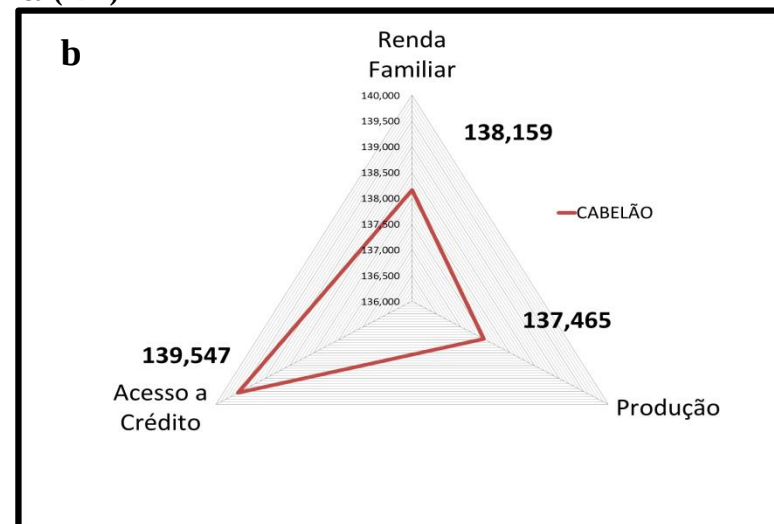
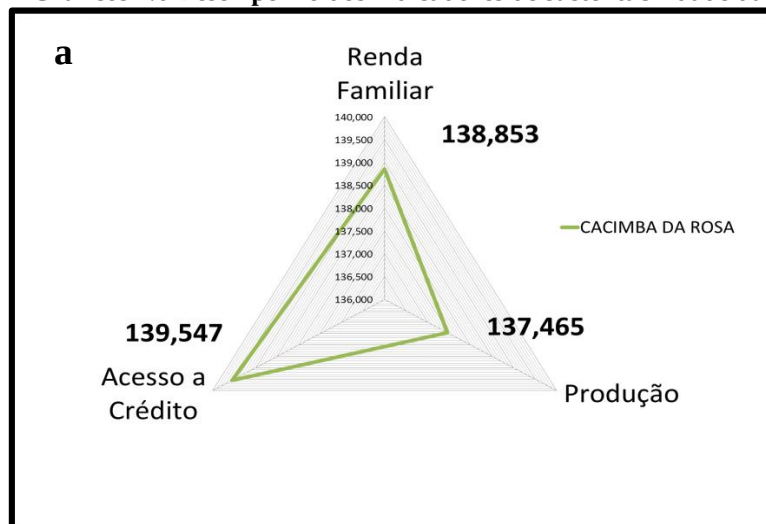
Esse indicador demonstra que todos os moradores que praticam agricultura familiar têm acesso aos programas de financiamento de bancos e do Governo Federal, conforme informações da Secretaria Municipal de Agricultura de Pedras de Fogo. No entanto, os valores oficiais recebidos pelas famílias não foram fornecidos. Entende-se que, apesar da ausência dos dados, esse indicador foi mantido na pesquisa visto que pode ser mensurado como um ponto positivo à sustentabilidade local. Segundo o Atlas de Desenvolvimento Humano-PNUD (2000), Pedras de Fogo encontra-se entre as piores colocações do Estado da Paraíba, com um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) igual a 0.568, o que é bastante preocupante.

Corroborando com as informações da Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município, os dados da Emater/PB confirmam que todos os proprietários de áreas do entorno às nascentes têm direito ao microcrédito rural destinado aos agricultores de baixa renda. Esse fator permite o financiamento das atividades agropecuárias, ou não, podendo os créditos cobrir qualquer demanda que possa gerar renda para a família atendida. No âmbito do

Programa Nacional de Reforma Agrária (PNRA) as linhas de crédito são para os agricultores familiares enquadrados no Grupo B, destinadas às famílias com renda bruta anual familiar de até R\$ 10 mil, e agricultoras integrantes das unidades familiares de produção enquadradas nos Grupos A ou A/C, que contemplam os agricultores familiares assentados. Além dessa linha, existem ainda recursos oriundos do Programa Nacional de Crédito Fundiário (PNCF) e os reassentados em função da construção de barragens. Os assentados também têm direito ao crédito federal do programa Bolsa Família. A análise comparativa dos valores da dimensão ISE pode ser visualizada no Gráfico 4.6, que ilustra o desempenho da sustentabilidade dos indicadores para cada área estudada.

Constata-se que, para a área do setor em torno da comunidade Nova Aurora, os três indicadores desta dimensão apresentaram o melhor desempenho com índice de 139,547, caracterizando-a como sustentável. Apenas o indicador renda familiar da área da nascente comunidade Fazendinha apresentou-se como insustentável (136,771). Já o indicador renda familiar da região circunvizinha às nascentes Cacimba da Rosa e Cabelão mostrou-se como quase sustentável (138,835). Quanto à produção das famílias que desenvolvem atividades agrícolas em torno das nascentes Cacimba da Rosa e Cabelão, os índices sustentabilidade foram de 137,465 para as essas duas áreas.

Gráficos 4.6 Desempenho dos indicadores de sustentabilidade da dimensão econômica (IDE)



Fonte: Pesquisa de Campo (2012)

Diante dos resultados, os índices finais da sustentabilidade da dimensão econômica encontrada para cada área circunvizinha às captações de nascente estão apresentados na Tabela 4.7 a seguir.

Tabela 4.7 Área dos triângulos e índices finais da sustentabilidade econômica

NASCENTES	ÁREA DOS TRIÂNGULOS	ÍNDICE FINAL
Cacimba da Rosa	15582,786	138,615
Cabelão	15530,821	138,390
Nova Aurora	15791,819	139,547
Fazendinha	15582,396	138,621

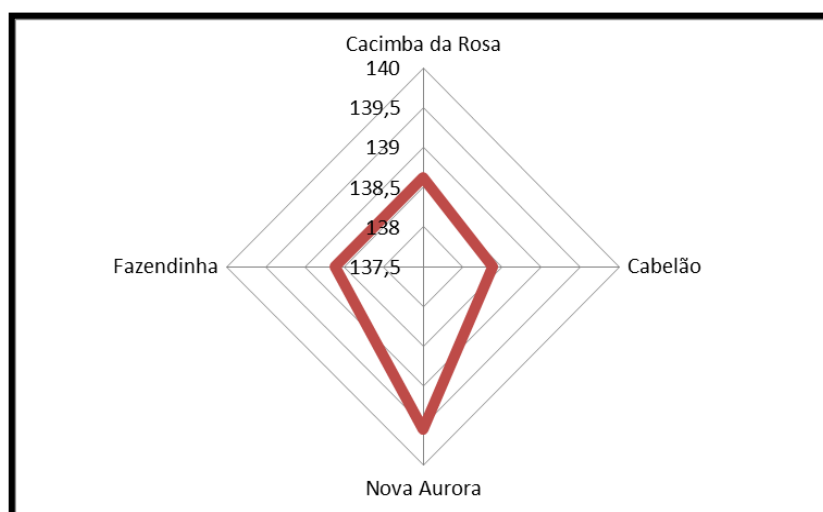
Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Legenda:



Assim, pode-se afirmar que os índices de sustentabilidade da dimensão econômica revelaram o desempenho sustentável da área em torno da comunidade Nova Aurora, com a média simples dos valores, resultando a maior área do triângulo no gráfico de radar para essa nascente. As demais áreas apresentaram desempenho que as apontaram como quase sustentável. O gráfico 4.7 ilustra o comportamento dos índices, por meio da média simples dos valores dos índices, para todas as nascentes.

Gráfico 4.7 Índice final de sustentabilidade econômica das áreas de estudo



Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Revelou-se, mais uma vez, que a área do entorno da nascente da comunidade Nova Aurora obteve o melhor desempenho dos índices da dimensão econômica. Percebe-se ainda

que o indicador de renda familiar foi responsável pelo maior desempenho do índice de sustentabilidade final para a área da nascente comunidade Nova Aurora nesta dimensão.

4.2.3 Índice de sustentabilidade ambiental (ISA)

O resultado do cálculo do índice final de sustentabilidade hidroambiental para cada indicador da dimensão ambiental está apresentado na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 Índices da dimensão ambiental das áreas circunvizinhas às nascentes

INDICADORES/SUBINDICADORES AMBIENTAIS		NASCENTES			
		Cacimba da Rosa	Cabelão	Nova Aurora	Fazendinha
Vazão		113,557	112,431	111,868	111,868
Precipitação		113,557	113,557	113,557	113,557
Vegetação		111,305	111,305	112,431	113,557
Saneamento	Coleta de resíduos	113,557	113,557	111,305	111,305
	Rede de esgoto	111,305	111,868	111,305	111,305
	Abastecimento de água	112,994	112,431	111,305	111,305
Qualidade da água	Coliformes	112,994	113,557	113,557	112,994
	Cor	113,557	113,557	113,557	113,557
	Cloretos	111,868	112,431	113,557	113,557
	Nitrato	111,305	111,305	113,557	113,557
	Amônia	113,557	113,557	113,557	113,557
	DBO	113,557	113,557	113,557	113,557
Defensivo agrícola		111,305	111,305	111,305	111,305

Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Legenda:

SUSTENTÁVEL	QUASE SUSTENTÁVEL	INTERMEDIÁRIO	INSUSTENTÁVEL
-------------	-------------------	---------------	---------------

A análise dos indicadores que compõem a dimensão ambiental das áreas pesquisadas requereu um levantamento de questões que indicassem o cenário hídrico da região em termos de qualidade e quantidade de água produzida pelas nascentes e a flora existente no local. Todas as variáveis foram estudadas tomando-se como base o homem e a sua relação com o meio ambiente, como interação e como transformam o meio conforme suas necessidades.

✓ Vazão

O estudo da vazão das quatro nascentes foi importante para revelar quais as características da produção de água de cada fonte. Percebeu-se que as nascentes são essenciais às comunidades circunvizinhas às captações tanto em dias normais, quanto em períodos de

escassez. Calculou-se a produção de cada uma delas e, conforme a Tabela 4.9, chegou-se ao seguinte denominador:

Tabela 4.9 Valores médios das medições de vazão das nascentes (2010-2012)

NASCENTE	VAZÃO L/min	POPULAÇÃO EM TORNO (2010)	ABASTECIMENTO PARA CONSUMO DE ÁGUA (150 L/dia)
Cabelão	27,11 L/min	2110	445 pessoas/dia
Cacimba da Rosa	57,95 L/min	1121	570 pessoas/dia
Nova Aurora	11,97 L/min	2001	115 pessoas/dia
Fazendinha	10,4 L/min	553	100 pessoas/dia

Fonte: Análise... (2012).

Conforme os dados apresentados na Tabela 4.9 verifica-se que as fontes produzem água para abastecimento de 570 pessoas/dia, no caso da nascente com maior vazão (Cabelão) e 100 pessoas/dia no caso da nascente de menor vazão (Fazendinha), levando-se em consideração o consumo de 150 L/dia. Segundo Filgueira *et al.* (2010), os moradores circunvizinhos utilizam essa água, tanto para abastecimento humano e dessedentação animal quanto para a prática de irrigação. No entanto, conforme observado *in loco*, alguns usuários bebem a água sem ter conhecimento dos padrões de potabilidades recomendados pelo Ministério da Saúde, que serão explicados na discussão sobre os indicadores de qualidade da água.

✓ Precipitação

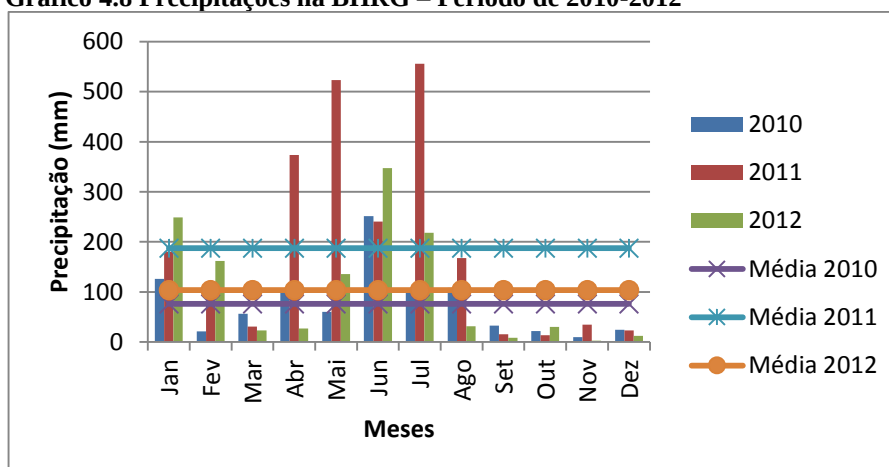
O comportamento da precipitação tem relação com a vazão das nascentes, ou seja, maiores precipitações refletem em maior produção de água dessas fontes. A Tabela 4.10 apresenta os valores médios mensais registrados na bacia hidrográfica do rio Gramame, no período de 2010 a 2012. Observa-se que as maiores incidências de chuvas compreendem os meses abril a agosto. No entanto, o mês de janeiro de 2012 registrou médias mensais acima da média registrada nos últimos 30 anos (77 mm) na região, já para o mês de março, os valores foram inversos, ou seja, menores que a média dos 30 anos (121,8 mm).

Tabela 4.10 Comportamento das precipitações na bacia hidrográfica do rio Gramame (2010-2012)

ANO	MESES											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2010	126,10	21,10	56,70	100,3	60,4	251,6	104,1	108,5	32,90	22,00	10,00	24,7
2011	180,70	90,00	31,10	373,6	523,2	240,4	555,5	167,4	15,80	13,60	34,70	23,3
2012	248,6	162,00	23,00	27,2	135,7	347,3	218,4	31,6	8,50	30,00	2,80	12,1
Média mensal	185,10	91,0	36,9	167,00	239,5	281,1	292,7	102,5	19,1	21,9	15,8	20,2
Média (30 anos)	77,0	80,8	121,8	153,9	170,6	233,4	197,8	109,7	45,9	30,0	22,6	28,9
Média 2010 (mm)						76,53						
Média 2011 (mm)						187,44						
Média 2012 (mm)						103,9						

Fonte: Emater (2010-2012).

O gráfico 4.8 apresenta uma melhor visualização da incidência de precipitações nos anos deste estudo. Percebe-se que o ano de 2011 foi atípico comparando-se as demais. Observa-se nos meses de setembro a dezembro, uma baixa incidência de chuvas na área da bacia hidrográfica pesquisada.

Gráfico 4.8 Precipitações na BHRG – Período de 2010-2012

Fonte: Emater (2010-2012)

Verifica-se que os meses de maio e julho são os de maiores índices pluviométricos registrados no ano de 2011 e que, no ano posterior esse aumento foi constatado no mês de junho. Já o ano de 2010 registraram-se baixas pluviosidades da área da bacia hidrográfica estudada, comparando-se com os resultados dos anos seguintes. Utilizou-se, então, a média simples desses três anos, mantendo o índice de sustentabilidade com o mesmo desempenho para todas as áreas em torno das captações de nascentes estudadas.

✓ Qualidade da Água

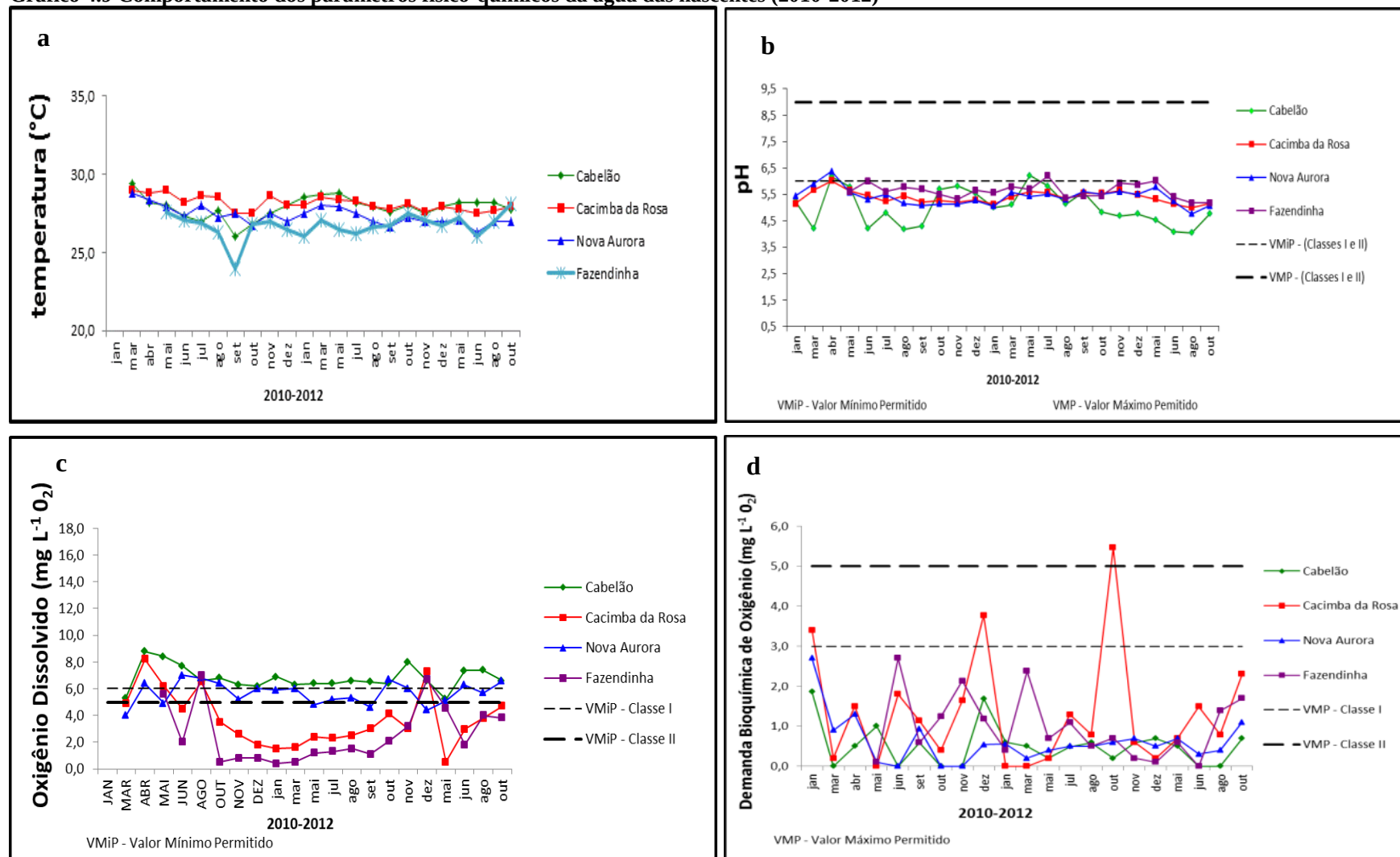
São apresentados os valores médios, mínimos, máximos e o desvio padrão dos parâmetros de qualidade da água das nascentes Cabelão, Cacimba da Rosa, Nova Aurora e Fazendinha (Apêndice 1). Como essas nascentes ainda não foram enquadradas em classe de qualidade da água, segundo a Resolução Conama nº 357/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2005), avaliaram-se os resultados da análise experimental obtidos no estudo com base nos padrões prescritos para águas doces, classes I e II. O comportamento dos parâmetros analisados durante o período de estudo está ilustrado no Gráfico 4.9.

Verifica-se pelo Gráfico 4.9a que, em cada nascente a temperatura da água apresentou pequenas variações ao longo do período estudado. Além disso, foi muito pequena a diferença da temperatura média entre elas. Em casos isolados esse parâmetro atingiu menos de 25°C, na nascente Fazendinha, e maiores que 29°C, em Cabelão.

Durante as visitas ao campo foi possível observar, conforme comentado anteriormente, a presença de resquícios de vegetação nativa em Fazendinha, o que pode determinar as variações dos valores de temperatura da água das duas nascentes. Ressalta-se a importância desse parâmetro, pois, sua influência na concentração de oxigênio dissolvido na água reflete diretamente sobre a biodiversidade aquática lá existente. A temperatura pode variar ainda em função de fontes naturais, como a própria energia solar e antropogênicas, como despejos industriais.

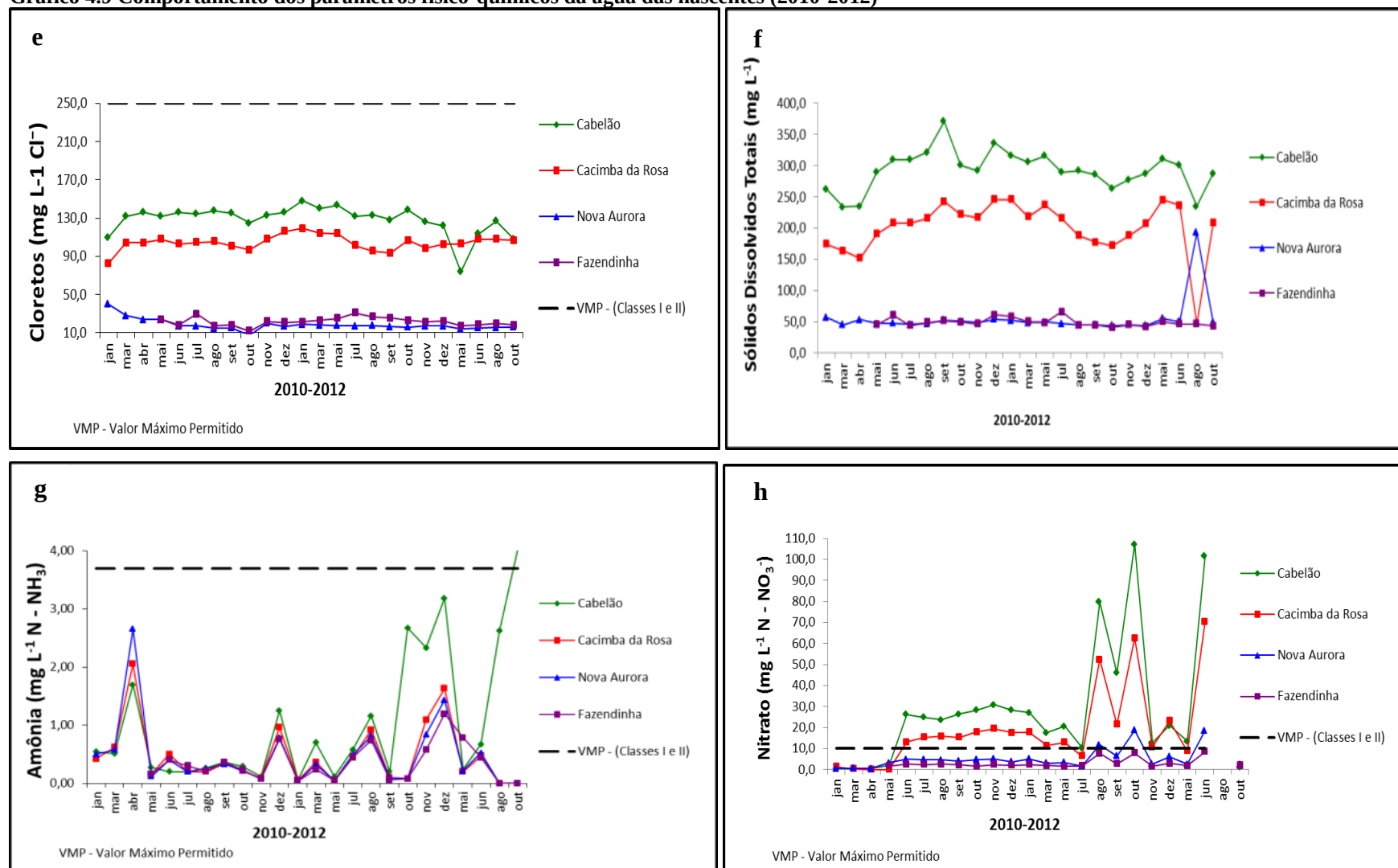
Quanto ao pH (Gráfico 4.9b), não houve, praticamente, diferença de comportamento entre as nascentes estudadas e foi pequena a variação em cada uma delas (baixo desvio padrão). No entanto, o valor médio desse parâmetro apresentou-se fora da faixa de 6,0 a 9,0, estabelecida pela Resolução citada, para as classes I e II de qualidade, ou seja, abaixo do mínimo de 6,0, o que significa uma condição de acidez da água. De acordo com Von Sperling (2005), a vida aquática pode ser afetada quando os valores de pH estão muito afastados da neutralidade. Geralmente, um pH muito ácido ou muito alcalino está associado à presença de despejos industriais, mas, também, pode refletir o tipo de solo por onde a água escoar. Segundo Mota (2006), o pH é função da origem da água e características naturais, entretanto pode ser alterado pela introdução de resíduos.

Gráfico 4.9 Comportamento dos parâmetros físico-químicos da água das nascentes (2010-2012)



Fonte: Projeto “Restauração das nascentes do rio Gramame” (2010-2012)

Gráfico 4.9 Comportamento dos parâmetros físico-químicos da água das nascentes (2010-2012)



Fonte: Projeto “Restauração das nascentes do rio Gramame” (2010-2012).

Por outro lado, ao se analisar o parâmetro oxigênio dissolvido – OD (Gráfico 4.9c), considerando-se o seu Valor Mínimo Permitido (VMiP) para as classes I e II, de qualidade da água, segundo a referida Resolução, verificou-se que a nascente Cabelão apresentou os valores mais elevados de OD. Ressalta-se, no entanto, que os resultados apresentaram valores mínimos abaixo do limite inferior (OD de $6,0 \text{ mgL}^{-1} \text{ O}_2$) permitido pela legislação para a classe I, mas superiores ao da classe II que é de $5,0 \text{ mgL}^{-1} \text{ O}_2$. Então, considerando-se o valor médio do OD, essa nascente estaria enquadrada na classe I. Para as demais nascentes foram observados valores mais baixos com média em Cacimba da Rosa e Fazendinha inferior ao mínimo estabelecido para a classe II (de $5,0 \text{ mgL}^{-1} \text{ O}_2$). Neste caso, essas nascentes não se enquadrariam nessa classe de qualidade da água. Os baixos valores de OD verificados na maioria das nascentes podem estar associados a problemas de poluição da água ou a baixa oxigenação da água em áreas de baixa velocidade do fluxo. No entanto, a ideia de poluição não se confirma quando se observam os baixos valores de oxigênio consumido (OC) e da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) que determinam de forma indireta, a quantidade de matéria orgânica numa certa amostra de água.

No caso da nascente Fazendinha, esses baixos valores de OD medidos podem ser decorrentes da pouca luminosidade recebida, ocasionada pela vegetação nativa que ainda é presente na área. Segundo Mota (2008), a baixa penetração dos raios solares no ambiente aquático desfavorece a produção de oxigênio pelas algas no processo de fotossíntese. Ressalta-se também que, dependendo da declividade, do local onde a água aflora, do tipo de nascente (pontual ou difusa), do tipo de solo e uso da terra, do regime da nascente e dos cursos d'água, o valor do OD pode ser baixo nesses ambientes sem, necessariamente, estar ligado à poluição.

Desconsiderando os valores de DBO (Gráfico 4.9d) acima do máximo de $3,0 \text{ mgL}^{-1} \text{ O}_2$, (estabelecido pela legislação para a Classe I) em coletas isoladas na nascente Cacimba da Rosa, durante o período de estudo (janeiro de 2010 a outubro de 2012) as concentrações desse parâmetro ficaram abaixo do limite citado em todas as nascentes, o que as enquadraria na classe I, segundo a Resolução Conama nº 357/2005, podendo ser usadas para o abastecimento doméstico após tratamento simplificado.

Os cloretos (Gráfico 4.9e) podem estar presentes nas águas naturais como resultado do seu contato com depósitos minerais ou com a água do mar, mas também podem ocorrer devido à poluição por esgotos domésticos e/ou industriais ou por retorno de águas utilizadas

na irrigação agrícola. Em geral, concentrações razoáveis de cloretos não são prejudiciais à saúde, mas transmitem à água um sabor salgado, repulsivo.

Neste estudo observou-se ainda que os valores encontrados para cloretos, em nenhuma das nascentes, foram superiores a 250 mgL^{-1} de Cl^- (valor máximo permitido pelo Conama para as classes I e II de qualidade da água), justificando o bom desempenho calculado para este subindicador. Mesmo estando abaixo do limite, os maiores valores foram observados em Cabelão e Cacimba da Rosa. O fato de essas nascentes estarem localizadas próximas de áreas urbanas, sem infraestrutura de saneamento (coleta e tratamento de esgotos) pode justificar os valores encontrados.

Constatou-se que os sólidos totais dissolvidos – STD (Gráfico 4.9f) e a condutividade elétrica – CE também podem justificar os valores obtidos para os cloretos, pois esses parâmetros se comportaram de forma semelhante em cada uma das quatro nascentes e podem ser associados aos processos erosivos causados pelo escoamento superficial, que decorrem do uso inadequado do solo nas proximidades das nascentes, apesar de serem consideradas áreas de preservação permanente (APPs), segundo as leis ambientais brasileiras vigentes.

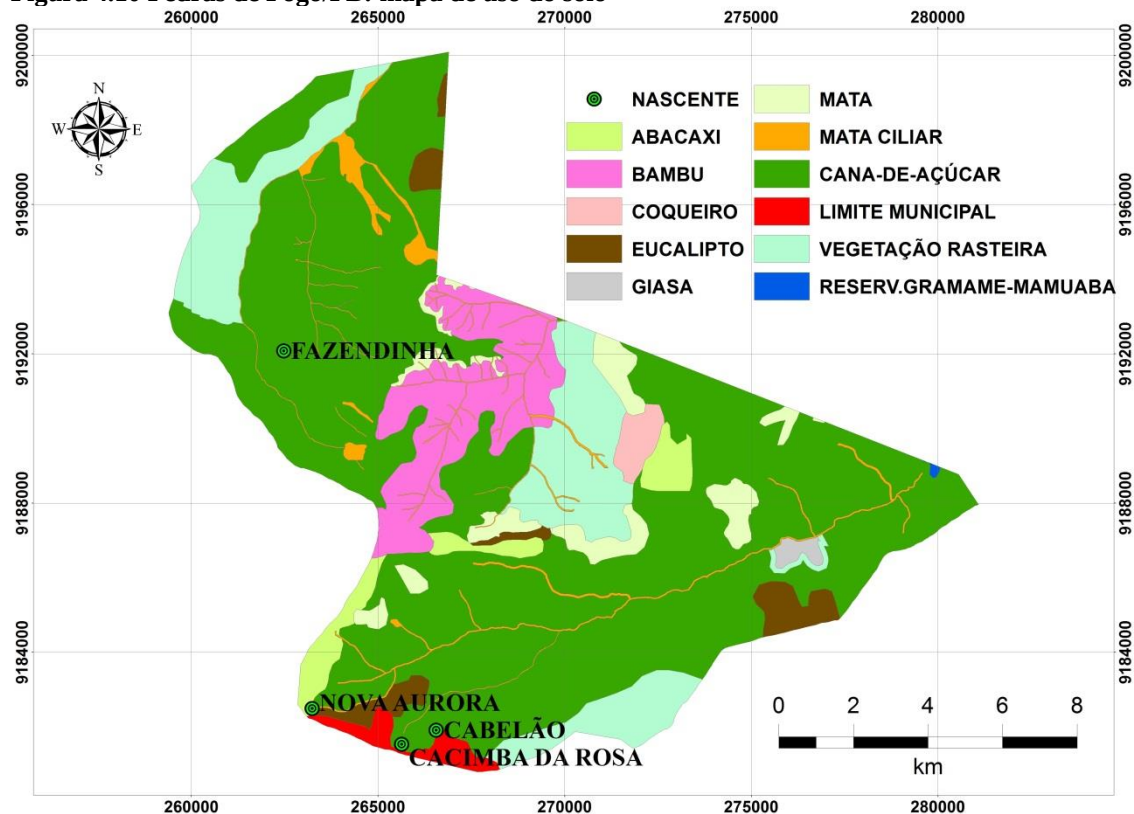
Na literatura, registra-se o estudo realizado por Folhas *et al.* (2002, apud COX *et al.* 2007), no Grande Rio de Miami (EUA) que indicou a relação direta entre o aumento da condutividade elétrica em corpos hídricos e o aumento dos níveis de cloretos. Verifica-se assim, que esses três parâmetros físico-químicos (Cl^- , STD e CE) da água mantêm uma relação estreita e sofrem interferências antrópicas e naturais.

Quanto à amônia (Gráfico 4.9g), sua presença fora do limite permitido pela legislação ($3,7 \text{ mgL}^{-1} \text{ N}$) assinala a existência de poluição recente, uma vez que esse composto é oxidado rapidamente na água graças, principalmente, à presença de bactérias nitrificantes. Por essa razão, constitui-se num importante índice da presença de despejos orgânicos recentes, o que não foi observado nesta pesquisa.

Contudo, ao analisar o parâmetro nitrato – $\text{NO}_3\text{-N}$ (Gráfico 4.9h), especificamente nas nascentes Cabelão e Cacimba da Rosa, percebeu-se que o comportamento dos valores médios ultrapassou o máximo permitido pela Resolução Conama nº 357/2005, ao longo do período das coletas, levando-se em consideração as classes de água doce adotadas neste estudo. Justificando assim, o baixo desempenho deste subindicador no cálculo final do indicador qualidade da água.

Segundo von Sperling (2005), o nitrogênio na forma de nitrato está associado a doenças como a metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul) e pode também fornecer informações sobre o estágio de poluição em que se encontram os corpos d'água, ou seja, associado à poluição mais remota. Pode-se ainda atribuir os altos valores de compostos nitrogenados na água a utilização de fertilizantes, demandados pela atividade agrícola de cana-de-açúcar e abacaxi na região, conforme se observa no mapa de uso do solo (Figura 4.10). Assim, de acordo com Hirata (2000), entre os compostos inorgânicos, o nitrato é o contaminante de maior incidência em corpos hídricos. Os lançamentos ocorrem, mais comumente devido a falta de sistemas de coleta e tratamento de efluentes, como também da aplicação de fertilizantes nitrogenados na agricultura.

Figura 4.10 Pedras de Fogo/PB: mapa de uso do solo



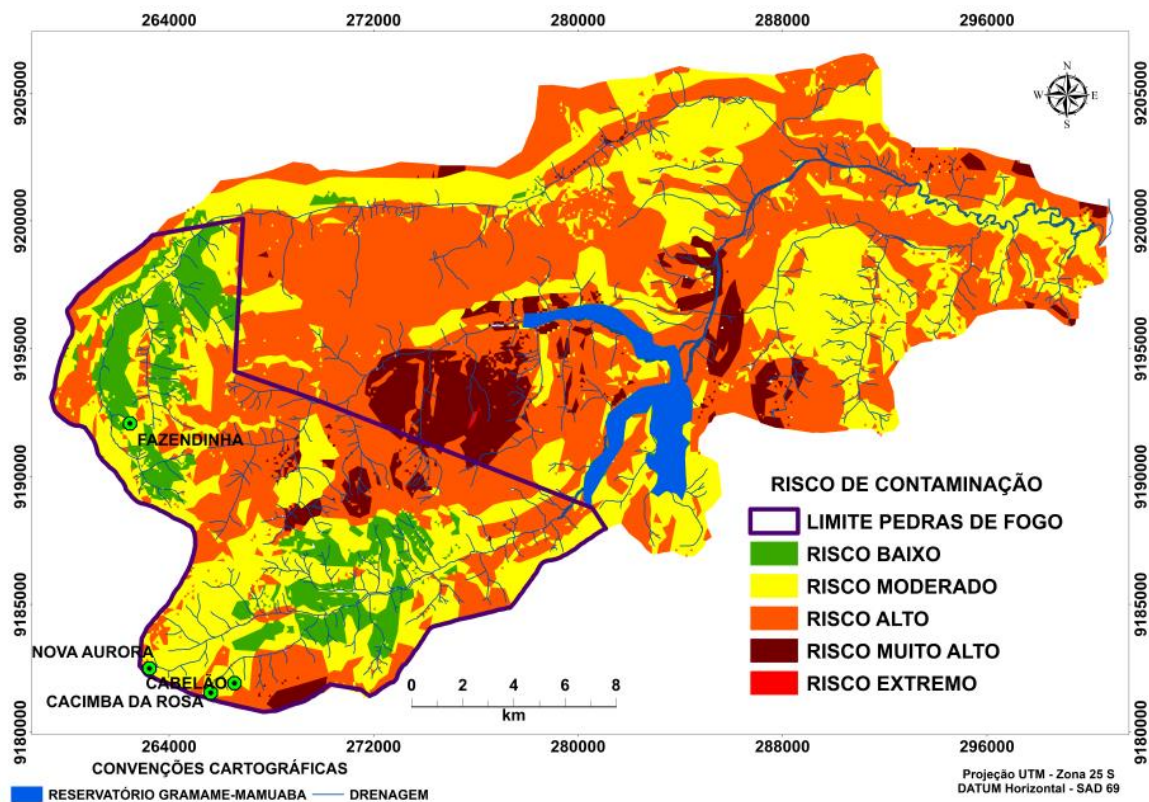
Fonte: Paraíba (2000).

Elaboração: Franklin Linhares (2012).

A presença desses compostos que comprometem à qualidade da água do aquífero livre da BHRG foi discutida por Linhares (2012) por meio da metodologia DRASTIC (**D** – Profundidade do topo do aquífero (*Depth to water*); **R** – Recarga do aquífero (*Net Recharge*); **A** – Material do aquífero (*Aquifer media*); **S** – Tipos de solos (*Soil media*); **T** – Topografia (*Topography*); **I** – Influência da zona não saturada (*Impactor of the unsaturated media*); **C** – Condutividade hidráulica do aquífero (*Hydraulic Conductivity of the Aquifer*) e DRASTIC

Modificado, pela inclusão das variáveis **LC** – Cobertura do Solo (*Land Cover*); **LU** – Uso do Solo (*Land Use*). O autor constatou que o risco de contaminação do aquífero livre é resultante, principalmente, da dinâmica no processo agrícola e da consequente modificação no uso do solo, devido às práticas agrícolas desenvolvidas nessas áreas (Figura 4.11).

Figura 4.11 Mapa de Risco de Contaminação da Bacia Hidrográfica do rio Gramame, por meio do DRASTIC e DRASTIC Modificado



Fonte: Linhares (2012).

Elaboração: Franklin Linhares (2013).

Assim, conforme o mapa de risco de contaminação da bacia hidrográfica do rio Gramame verifica-se na área do município de Pedras de Fogo, na região das nascentes estudadas, tanto as localizadas na zona agrícola (que desenvolvem o cultivo da “lavoura branca”, cana-de-açúcar e abacaxi), quanto às da zona periurbana (com a inexistência dos equipamentos que permitam o mínimo de infraestrutura sanitária), que os riscos de contaminação são moderado, alto e muito alto.

Quanto à análise bacteriológica, percebeu-se que a variação do parâmetro coliformes termotolerantes para todas as nascentes manteve-se dentro do limite máximo permitido pela Resolução Conama nº 357/2005 (Tabela 4.11), para águas doces Classe I, com exceção dos

meses de outubro e dezembro de 2010 para a nascente Fazendinha e no mês de outubro para a Cacimba da Rosa, onde foram detectados valores acima do estabelecido pela citada Resolução (>200 NMP/100ml). Esses valores refletiram no baixo desempenho do índice do subindicador coliforme termotolerantes para essas duas nascentes.

Tabela 4.11 Resultados das análises microbiológicas, determinação de coliformes termotolerantes na água das nascentes (2010-2011)

NASCENTE	2010						2011							
	jun	jul	ago	set	out	Nov	dez	jan	fev	Abr	jun	ago	out	dez
Cabelão	2,3	24,0	0,0	0,7	2,3	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cacimba da Rosa	24,0	0,0	2,3	0,4	240,0	15,0	15,0	0,0	110,0	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0
Nova Aurora	0,0	0,0	0,0	0,4	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Fazendinha	4,3	0,0	4,3	4,3	240,0	46,0	240,0	0,0	9,3	15,0	2,3	0,0	0,0	0,0

Fonte: Projeto “Restauração das nascentes do rio Gramame” (2010-2012).

Conforme von Sperling (2005), a presença de bactérias do grupo coliforme é um dos principais indicadores de contaminação biológica e sugerem que intervenções naturais e antrópicas podem estar ocorrendo em um determinado recurso natural. A presença de bactérias do grupo coliforme é também proveniente de fezes humanas e de animais de sangue quente. Valores isolados acima do permitido pela legislação podem ser decorrentes da presença de vários animais, como também de pessoas que utilizam a área em torno da nascente para lavagem de roupa, por exemplo. Conforme a CETESB (2010), a determinação desse parâmetro é de grande importância por indicar a possibilidade de bactérias patogênicas, que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica.

Os parâmetros turbidez e cor apresentaram valores dentro do que estabelece a Resolução Conama nº 357/2005 para as Classes I e II (Apêndice 1).

✓ **Infraestrutura de Saneamento**

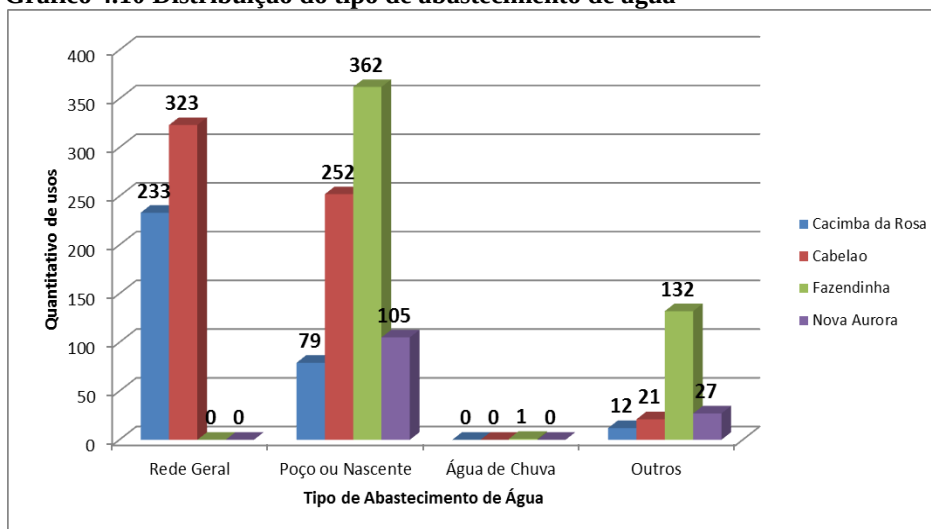
A instalação sanitária nas comunidades é princípio básico para a proteção da saúde, no que diz respeito a não proliferação de doenças infectocontagiosas. Assim, as moradias interligadas a um sistema que contemple abastecimento de água, rede de coleta, transporte e tratamento de efluentes domésticos, e sistema de coleta de resíduos sólidos têm garantida a redução de doenças, conforto e bem-estar das pessoas.

Os dados sobre o fornecimento e abastecimento de água para as comunidades que estão nos setores censitários estudados revelam que, como já era previsível, no geral, apenas

as residências que estão na zona urbana do município de Pedras de Fogo são servidas pela rede geral de abastecimento de água. No entanto, do total de tipo de abastecimento, 28% das residências do setor Cacimba da Rosa ainda não estão interligados à rede de abastecimento de água. O percentual se distancia ainda mais quando contabilizadas ligações na área de influência à nascente Cabelão, que tem 54% das moradias servidas de água oriunda da rede geral de abastecimento. Por outro lado, a realidade das casas da zona rural é preocupante, visto que, na sua totalidade, não são interligadas a sistema de abastecimento de água.

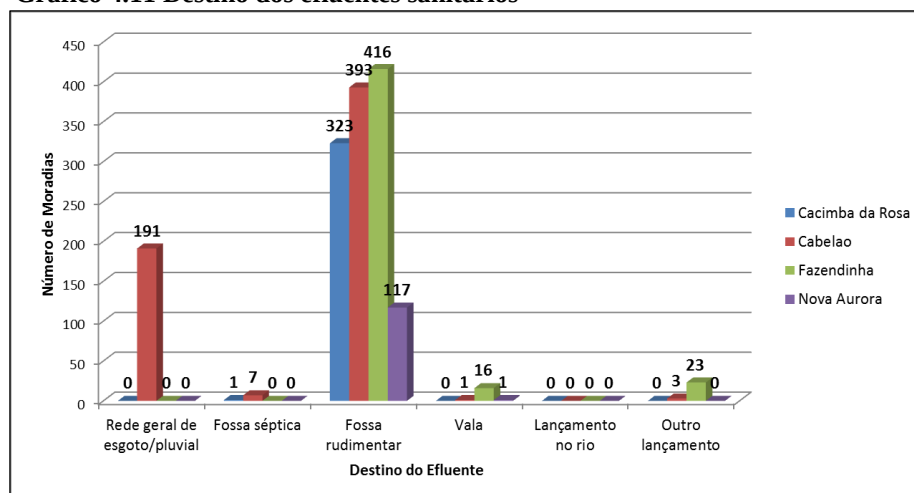
Pode-se verificar no Gráfico 4.10 que 362 famílias (73% do total) da comunidade Fazendinha utilizam água de poço ou de nascente e que, os moradores do entorno da nascente Nova Aurora, 105 famílias, o correspondente a 80% do total, utilizam água da mesma origem. Destacam-se ainda as áreas das nascentes periurbanas que além do abastecimento da rede pública, 331 famílias, ou seja, 61% total das residências têm poço ou utilizam água de fonte.

Gráfico 4.10 Distribuição do tipo de abastecimento de água



Fonte: IBGE (2011)

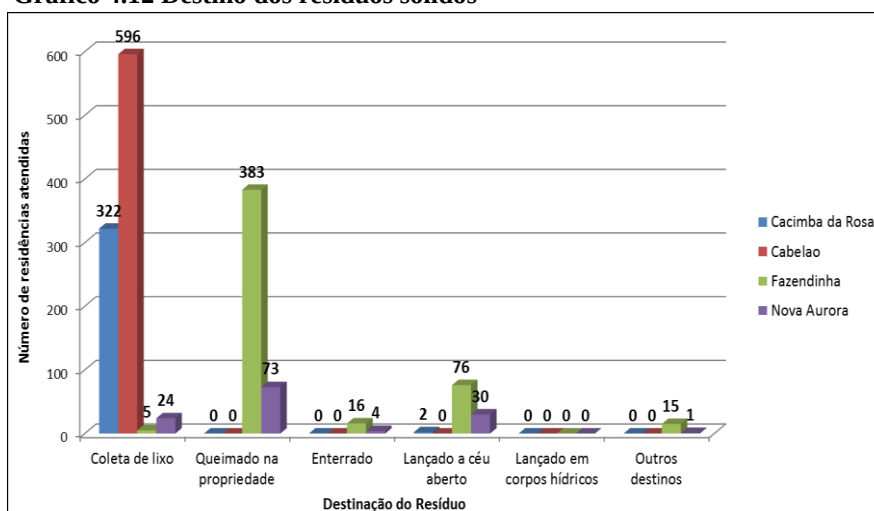
Quanto ao lançamento dos efluentes sanitários, o Gráfico 4.11 ilustra o cenário dos setores estudados. Percebe-se que a maioria das moradias não é interligada à rede de coleta de esgotos. O setor que insere a nascente Cabelão, por fazer parte da zona urbana do município de Pedras de Fogo, tem 191 residências interligadas à rede. A maioria das residências de todos os setores censitários pesquisados destina seus efluentes para fossas rudimentares.

Gráfico 4.11 Destino dos efluentes sanitários

Fonte: IBGE (2011).

Conforme as informações da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Pedras de Fogo, apenas 15% de toda zona urbana está interligada à rede de coleta e transporte de efluentes sanitários. Neste sentido, a realidade é preocupante, pois, a garantia de saúde e de bem-estar das comunidades estão comprometidos.

No tocante ao destino dos resíduos sólidos, verificou-se que os setores urbanos do município têm serviço de coleta de resíduos atendendo todas as residências (Gráfico 4.12). No entanto, as áreas da zona rural praticam a queimada dos resíduos, além de lançá-los a céu aberto. Algumas residências enterram os resíduos gerados.

Gráfico 4.12 Destino dos resíduos sólidos

Fonte: IBGE (2011)

Conforme apresentado e discutido no indicador densidade demográfica da dimensão social, o meio ambiente é comprometido pela inexistência de sistemas de coleta, transporte e

tratamento de resíduos e efluentes domésticos, o que de certo impactam as áreas circunvizinhas às captações de nascentes, objeto desta pesquisa.

✓ **Defensivo agrícola**

A utilização de defensivos agrícolas é uma prática comum em todas as áreas em torno às captações de água das nascentes estudadas. A “lavoura branca”, com os plantios extensivos de cana-de-açúcar e de abacaxi, exige a utilização de fertilizantes, pesticidas e herbicidas para que o êxito na atividade seja garantido e, com isto, produzam o sustento das famílias que delas necessitam.

Desta forma, a utilização desses defensivos sem acompanhamento técnico é uma prática rotineira em todas as áreas pesquisadas. Conforme informação verbal do Técnico Agrícola da Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município, tanto os assentamentos, quanto as áreas periurbanas utilizam esses produtos químicos. As informações vão além e revelam que os agricultores, além de fazerem uso das substâncias, descartam embalagens de forma inadequada. Considerou-se então, quando do cálculo do desempenho desse indicador, o mesmo valor para todas as áreas estudadas.

✓ **Vegetação**

As nascentes que estão localizadas na área periurbana tiveram grande parte da vegetação suprimida pelo avanço da zona urbana. A construção do anel viário nas proximidades das nascentes Cabelão e Cacimba da Rosa gerou grande impacto quanto à perda da biodiversidade florestal da região.

O trabalho realizado por Costa (2011) apresentou o diagnóstico das áreas circunvizinhas às nascentes Cabelão, Cacimba da Rosa, Nova Aurora e Fazendinha. Esses dados subsidiaram o cálculo do índice de sustentabilidade para este indicador. O Quadro 4.1 apresenta as espécies florestais presentes em torno da nascente Cabelão. O levantamento florístico identificou quinze (15) espécies, 60% delas eram nativas. Por outro lado, percebeu-se que a mata foi substituída em 40% por espécies exóticas, principalmente frutíferas, das quais muitas não são indicadas à reposição florestal.

Quadro 4.1 Espécies florestais presentes em torno da nascente Cabelão

NOME VULGAR	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA	CLASSIFICAÇÃO
Bananeira	<i>Musa spp.</i>	Mysaceae	Exótica
Jaqueira	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Moraceae	Exótica
Palmeira (Macaíba ou Macaúba)	<i>Acrocomia intumescens</i> Drude.	Arecaceae	Nativa
Imbaúba ou Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i> Trec.	Cecropiaceae	Nativa
Pau cinza	<i>Inga stipularis</i> DC.	Fabaceae-Mimosoideae	Nativa
Oliveira	<i>Olea europaea</i> L.	Oleaceae	Exótica
Genipapo	<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae	Nativa
Sabiá, Sabiazeira	<i>Miconia prasina</i> DC.	Melastomataceae	Nativa
Ipê mirim ou Ipê roxo ou Ipê preto	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl	Bignoniaceae	Nativa
Castanhola (Coração de negro)	<i>Zollernia latifolia</i> Benth.	Fabaceae-Papilionoideae	Exótica
Araçá	<i>Myrcia platyclada</i> DC.	Myrtaceae	Nativa
Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.)	Leguminosae	Exótica
Jurubeba	<i>Solanum paniculatum</i> L.	Solanaceae	Nativa
Leiteiro ou Banana de papagaio	<i>Sapium glandulatum</i> Pax	Euphorbiaceae	Nativa
Seriguela ou Ciriguela	<i>Spondias purpurea</i> L.	Anacardiaceae	Exótica

Fonte: Costa (2011).

No tocante ao quesito florestal em torno da Cacimba da Rosa (Quadro 4.2) verifica-se que existe uma considerável redução de espécies florestais. No entanto, foram levantadas, de acordo com Costa (2011), quinze (15) espécies vegetais, das quais 66,67% pertencentes à mata nativa.

Quadro 4.2 Espécies florestais presentes em torno da nascente Cacimba da Rosa

NOME VULGAR	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA	CLASSIFICAÇÃO
Cajá	<i>Spondias mombin</i> Jacq.	Anacardiaceae	Exótica
Anil ou Anileiro	<i>Indigofera trinctoria</i> L.	Leguminosae	Exótica
Araçá	<i>Myrcia platyclada</i> DC.	Myrtaceae	Nativa
Imbaúba ou Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i> Trec.	Cecropiaceae	Nativa
Jitaí	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J. F. Macbr	Fabaceae-Caesalpinioideae	Nativa
Pitomba ou Olho de boi	<i>Eugenia luschnathiana</i> Berg.	Myrtaceae	Exótica
Genipapo	<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae	Nativa
Jurema preta	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd) Poir.	Fabaceae- Mimosoideae	Exótica
Espinheiro ou Braúna-mongo ou Espinheiro-preto	<i>Acacia polyphylla</i> DC.	Fabaceae- Mimosoideae	Nativa
Sete cascos	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex. Spreng	Anacardiaceae	Nativa
Cavaçu	<i>Coccoloba alnifolia</i> Casar.	Polygonaceae	Nativa
Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.)	Leguminosae	Exótica
Jurubeba	<i>Solanum paniculatum</i> L.	Solanaceae	Nativa
João mole	<i>Guapira laxa</i> (Netto) Furlan	Nyctaginaceae	Nativa
Caboatã de rego	<i>Cupania racemosa</i> Radlk.	Sapindaceae	Nativa

Fonte: Costa (2011).

Verifica-se que a nascente Cacimba da Rosa se assemelha à nascente Cabelão no parâmetro florístico, visto que o número das espécies nativas também é maior do que as exóticas o que favorece a sua recuperação. Cerca de 33,33% da vegetação é constituída por espécies exóticas que se instalaram na região ou foram introduzidas pelo homem ou pelas condições ambientais favoráveis.

No levantamento florestal realizado por Costa (2011) em torno da nascente Nova Aurora foram diagnosticadas vinte (20) espécies, das quais 65% eram nativas (Quadro 4.3). Esse grande número de espécies nativas favorece os recursos naturais de toda a região, além de ser um fator positivo quando se procura executar práticas de recuperação. Contudo observou-se que 35% da mata nativa foram substituídas por espécies exóticas que impedem a regeneração de espécies nativas e não são adequadas ao processo de reflorestamento.

Quadro 4.3 Espécies florestais presentes em torno da nascente Nova Aurora

NOME VULGAR	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA	CLASSIFICAÇÃO
Bananeira	<i>Musa spp.</i>	Mysaceae	Exótica
Jaqueira	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Moraceae	Exótica
Coqueiro	<i>Cocos nucifera</i> L.	Palmaceae	Exótica
Araçá	<i>Myrcia platyclada</i> DC.	Myrtaceae	Nativa
Palmeira (Macaíba ou Macaúba)	<i>Acrocomia intumescens</i> Drude.	Arecaceae	Nativa
Imbaúba ou Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i> Trec.	Cecropiaceae	Nativa
Espinheiro ou Braúna-mongo ou Espinheiro-preto	<i>Acacia polyphylla</i> DC.	Fabaceae-Mimosoideae	Nativa
Pau de jangada	<i>Apeiba albiflora</i> Aubl.	Malvaceae	Nativa
Caboatã de rego	<i>Cupania racemosa</i> Radlk.	Sapindaceae	Nativa
Embiriba ou Imbiriba ou Biriba	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambiss.) Miers.	Lecythidaceae	Nativa
Cipó imbé ou Pimenta do reino	<i>Philodendron imbe</i> Schott	Araceae	Nativa
Pau cinza	<i>Inga stipularis</i> DC.	Fabaceae-Mimosoideae	Nativa
Pau d'Arco roxo ou Ipê roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl	Bignoniaceae	Nativa
Ingá de várzea	<i>Ingá urunguensis</i> Hooooker et Arnott	Mimosoideae	Nativa
Dendê	<i>Elaeis guineensis</i> L.	Arecaceae	Exótica
Sete cascos	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex. Spreng	Anacardiaceae	Nativa
Ingá branco	<i>Inga laurina</i> (SW.) Willd	Leguminosae	Nativa
Oliveira	<i>Olea europaea</i> L.	Oleaceae	Exótica
Mangaba	<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	Apocynaceae	Exótica
Eucalipto	<i>Eucalyptus ssp.</i>	Myrtaceae	Exótica

Fonte: Costa (2011).

Para a nascente Fazendinha, foram levantadas no estudo de Costa (2011) também vinte (20) espécies florestais, das quais 79,17% pertencentes à mata nativa (Quadro 4.4).

Percebe-se assim que dentre as nascentes aqui estudadas esta é a que possui maior número de espécies florestais, na sua maioria pertencentes à mata nativa, evidenciando-se que é a nascente com melhor estado de conservação e preservação, além de ser a única que não precisa da introdução de espécies como forma de recuperar a região.

Sabe-se ainda, que 20,83% das espécies levantadas são exóticas. Porém, apesar de ser uma porcentagem baixa em comparação às outras nascentes estudadas é necessário buscar medidas de conservação, visto que a degradação ambiental é constante.

Quadro 4.4 Espécies florestais presentes em torno da nascente Fazendinha

NOME VULGAR	NOME CIENTÍFICO	FAMÍLIA	CLASSIFICAÇÃO
Dendê	<i>Elaeis guineensis</i> L.	Arecaceae	Exótica
Jaqueira	<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	Moraceae	Exótica
Imbaúba ou Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i> Trec.	Cecropiaceae	Nativa
Cupiúba	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl	Anacardiaceae	Nativa
Mangueira	<i>Mangifera indica</i> L.	Anacardiaceae	Exótica
Ingá roxo ou Ingá ou Ingá cabeludo, entre outros	<i>Ingá</i> sp.	Mimosaceae	Nativa
Pau d'Arco roxo ou Ipê roxo	<i>Tabebuia impetiginosa</i> (Mart. ex DC.) Standl	Bignoniaceae	Nativa
Ingá branco	<i>Inga laurina</i> (SW.) Willd	Leguminosae	Nativa
Craibeira ou Caraibeira ou Caibeira	<i>Tabebuia caraíba</i> (Mart.) Bur.	Bignoniaceae	Exótica
Bordão de velho	<i>Samanea tubulosa</i> (Benth.) Barneby & J.W.Grimes	Fabaceae-Mimosoideae	Nativa
Sete cascos	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex. Spreng	Anacardiaceae	Nativa
Caboatã lisa ou leiteiro-branco	<i>Trichilia lepidota</i> Mart.	Meliaceae	Nativa
Caboatã de rego	<i>Cupania racemosa</i> Radlk.	Sapindaceae	Nativa
Genipapo	<i>Genipa americana</i> L.	Rubiaceae	Nativa
Louro branco ou Louro prata	<i>Ocotea guianensis</i> Aublet.	Lauraceae	Nativa
Juá ou Juazeiro	<i>Zizyphus joazeiro</i> Mart.	Rhamnaceae	Nativa
Mão de vaca ou Pata de vaca ou Mororó, etc	<i>Bauhinia forficata</i> Link.	Caesalpinaceae	Nativa
Sambaquim	<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Mag. Stey. & Frodin	Araliaceae	Nativa
Quiri	<i>Brosimum guianense</i> Huber ex Ducke	Moraceae	Nativa
Cocão	<i>Pogonophora schomburgkiana</i> Miers	Euphorbiaceae-Pogonophora	Nativa
Sapucaia ou Sapucaia vermelha	<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Lecythidaceae	Nativa
Visgueira	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. Ex Walp.	Fabaceae-Mimosoideae	Nativa
Castanhola (Coração de Negro)	<i>Zollernia latifolia</i> Benth.	Fabaceae-Papilionoideae	Exótica
Embiriba ou Imbiriba ou Biriba	<i>Eschweilera ovata</i> (Cambiss.) Miers.	Lecythidaceae	Nativa

Fonte: Costa (2011).

Pode-se afirmar que, entre os índices de sustentabilidade ambiental dos indicadores e subindicadores, foi a qualidade da água que obteve o maior desempenho, pois os parâmetros cor, amônia, DBO em todas as nascentes revelaram-se como sustentáveis com o índice de 113,557, ou seja, atenderam aos limites máximos permitidos da Resolução Conama nº 357/2005, para águas de classes I e II. Por outro lado, o subindicador nitrato, mostrou-se insustentável (111,305) para a água das nascentes Cacimba da Rosa e Cabelão.

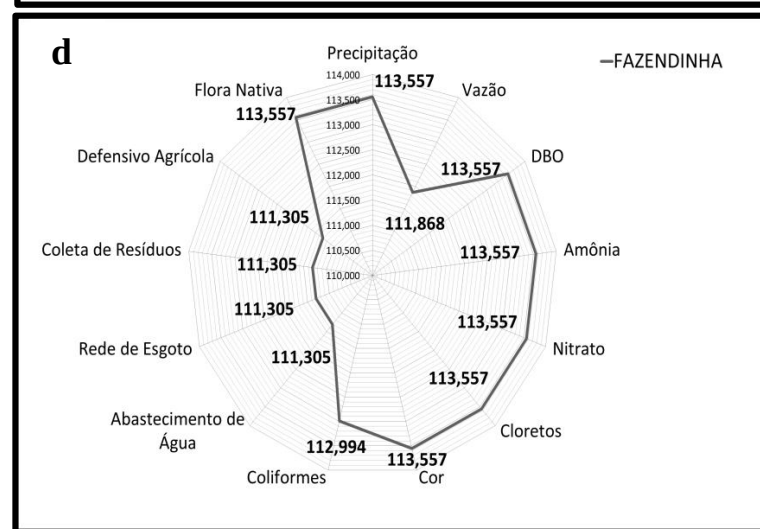
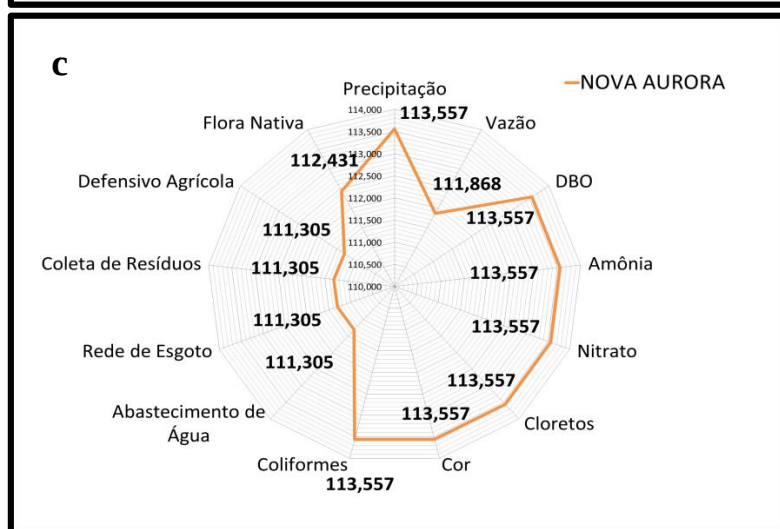
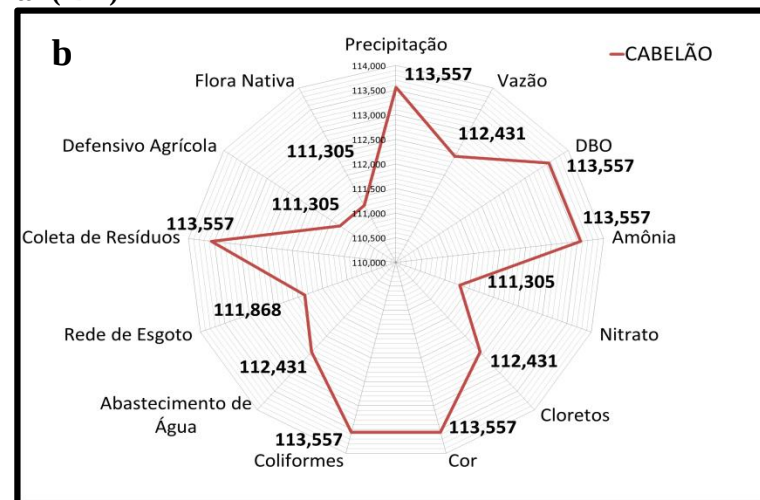
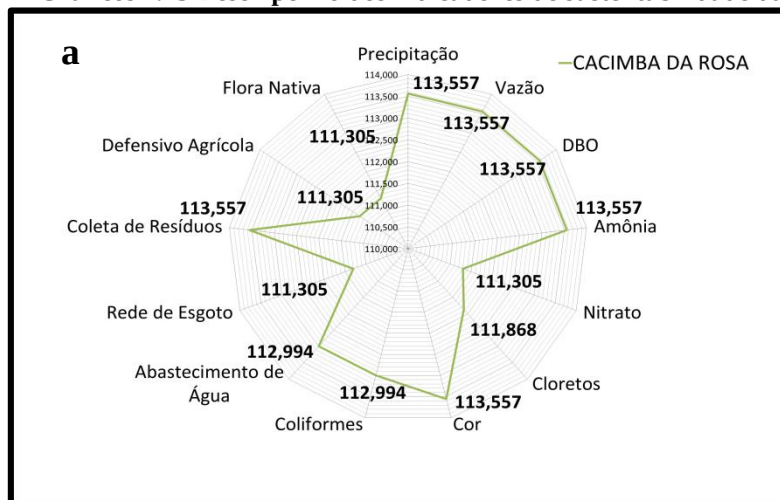
Quanto ao indicador saneamento, os índices mostraram insustentabilidade ambiental (111,305) nas áreas das nascentes Nova Aurora e Fazendinha, visto a não existência de infraestrutura de saneamento nos locais. Já para as áreas em torno às nascentes Cabelão o subindicador coleta de resíduos sólidos apresentou-se como sustentável (113,557) e atende ao setor censitário analisado. Para o subindicador abastecimento de água, o setor de influência às nascentes periurbanas, Cacimba da Rosa e Cabelão revelaram-se como quase sustentável (112,994) e intermediário (112,431), respectivamente. Isso decorreu, como apresentado na descrição dos indicadores de saneamento, da não cobertura integral de todas as residências à rede de abastecimento de água, mesmo estando localizadas em áreas urbanizadas.

A nascente Cacimba da Rosa atingiu para o indicador ambiental vazão, o índice de 113,557, que indica sustentabilidade da maior produção de água observada entre as quatro nascentes estudadas. As demais nascentes obtiveram o corolário de sustentabilidade intermediária com 112,431, para Cabelão; para Nova Aurora e Fazendinha, o mesmo índice de 111,868. Quanto à precipitação, verifica-se que todas as áreas apresentaram bom desempenho para este indicador (113,557).

O indicador vegetação foi mais bem pontuado e demonstrou maior desempenho para a área do entorno da nascente Fazendinha (113,557), pois é a área que tem o melhor estado de conservação de exemplares da flora nativa. Contudo, as áreas das nascentes Cacimba da Rosa, Cabelão e Nova Aurora apresentaram sustentabilidade intermediária, visto à degradação ambiental observada que é decorrente de práticas agrícolas incontrolada e da supressão de exemplares da flora local.

Uma melhor visualização do comportamento de todos os indicadores com seus respectivos índices pode ser feita por meio do Gráfico 4.13 a seguir.

Gráficos 4.13 Desempenho dos indicadores de sustentabilidade da dimensão ambiental (IDA)



Fonte: Pesquisa de Campo (2012)

Diante disso, as áreas dos triângulos e os índices finais de sustentabilidade da dimensão ambiental encontrados para cada área circunvizinha às captações de nascente estão apresentados na Tabela 4.12 a seguir.

Tabela 4.12 Área dos triângulos e índices finais da sustentabilidade ambiental

NASCENTES	ÁREA DOS TRIÂNGULOS	ÍNDICE FINAL
Cacimba da Rosa	25518,934	112,647
Cabelão	25534,522	112,647
Nova Aurora	25677,708	112,647
Fazendinha	25646,064	112,690

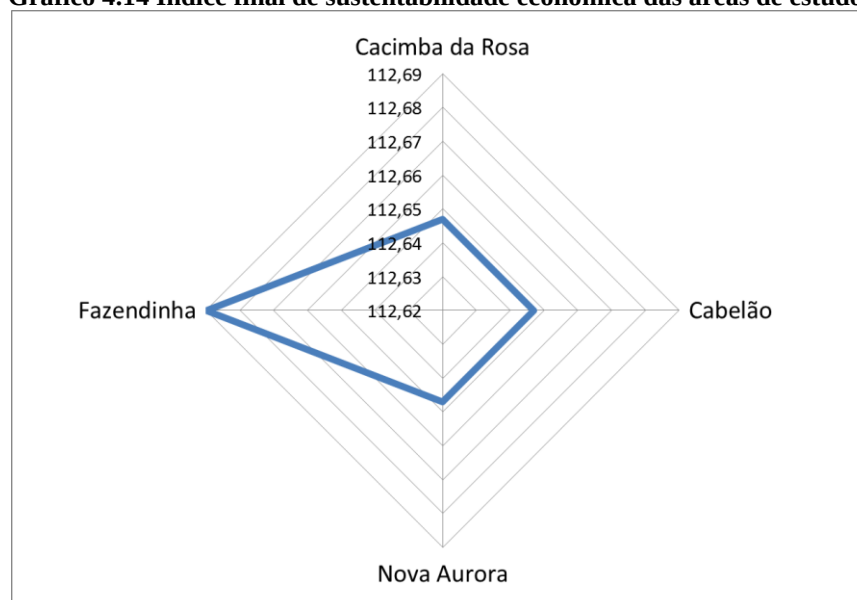
Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Legenda:



Assim, pode-se afirmar que os índices de sustentabilidade da dimensão ambiental que apresentaram a maior área do triângulo no gráfico de radar, e com isto o desempenho **quase sustentável** foi da área do entorno da nascente da Comunidade Fazendinha. As demais áreas apresentaram desempenho que apontam para **sustentabilidade intermediária**. O Gráfico 4.14 ilustra o comportamento desses índices por meio da média simples dos valores calculados.

Gráfico 4.14 Índice final de sustentabilidade econômica das áreas de estudo



Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Visualiza-se então, a semelhança no desempenho do índice final das áreas da nascente Nova Aurora e das periurbanas.

4.2.4 Índice de sustentabilidade institucional (ISI)

O resultado do cálculo do índice final de sustentabilidade ambiental para cada indicador da dimensão institucional é apresentado na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 Índices da dimensão institucional das áreas circunvizinhas às nascentes

INDICADORES INSTITUCIONAIS	NASCENTES			
	Cacimba da Rosa	Cabelão	Nova Aurora	Fazendinha
Participação associativa	155,962	155,962	155,962	155,962
Monitoramento das áreas	153,383	153,383	153,383	153,383
Capacitação	153,383	153,383	153,383	153,383
Projetos	153,383	153,383	153,383	153,383

Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Legenda:

SUSTENTÁVEL	QUASE SUSTENTÁVEL	INTERMEDIÁRIO	INSUSTENTÁVEL
-------------	-------------------	---------------	---------------

Várias organizações da sociedade civil têm voltado suas atenções no sentido de proteger os recursos hídricos, fomentar programas e executar ações que visem intervir de forma positiva para a melhoria da integração do quadro socioeconômico e ambiental. Pensar em propostas de integração é elaborar projetos que possam envolver as comunidades com os problemas de sua região. Entende-se ainda que os atores sociais devem ser capacitados para compreender e serem sensíveis à causa e, além disso, multiplicadores das ações.

✓ **Participação cooperativa, associação, sindicato**

Os agricultores locais em torno das quatro nascentes são associados em alguma organização sindical que visam à melhoria da produção e das técnicas de trabalho. Verificou-se também que nas áreas dos assentamentos de reforma agrária, há um maior estímulo para filiação dos agricultores à sua entidade representativa e são atuantes nas reivindicações dos seus direitos.

✓ **Execução de projetos de pesquisa e de monitoramento**

Quanto à execução de projetos nas áreas de estudo, constatou-se que apenas o “Restauração das nascentes do rio Gramame” mostrou-se eficiente na sua proposta. Do trabalho realizado durante três anos muitos pontos positivos podem ser relatados, tais como: esclarecimento da importância das nascentes para a comunidade e para a bacia hidrográfica do rio Gramame; sensibilização dos proprietários das áreas para o cercamento para proteção das nascentes; conhecimento da produção de água; monitoramento da qualidade da água;

propostas de reflorestamento; além de diversos trabalhos científicos, como dissertação de mestrado e artigos, desenvolvidos com os dados do projeto.

Alguns projetos pontuais foram realizados na área fruto da parceria com as Secretarias Estadual e Municipal de Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba e a Prefeitura Municipal de Pedras de Fogo, com objetivo de promover a preservação das áreas e a sensibilização dos atores sociais envolvidos com a questão. No entanto, muitas dessas ações, como a prática de reflorestamento com mudas nativas no entorno das nascentes, não atingiram êxito, visto que as mudas não sobreviveram pela falta de irrigação e acompanhamento.

Em 2009, a Emater/PB distribuiu filtros de barro para as residências visando garantir melhor qualidade da água consumida. Conforme o relato dos moradores houve diminuição de ocorrências de casos de diarreia.

Contudo, esses projetos e pesquisas não são suficientes para impulsionar a sustentabilidade da dimensão institucional. Então, faz-se necessário que novas propostas sejam executadas com frequência continuada.

✓ **Capacitação/treinamento**

O projeto “Restauração das nascentes do rio Gramame” foi imprescindível na promoção de oficinas temáticas que trataram da gestão integrada de recursos hídricos, da manutenção e preservação permanente das áreas de nascentes do rio Gramame. Foram transmitidos conhecimentos sobre a necessidade de preservação das matas ciliares, sobre os problemas gerados pelo lançamento de resíduos sólidos a céu aberto, pela lavagem de roupas, animais e banho da forma como a comunidade realiza, pois são ações que geram a poluição e a contaminação do solo e água fora amplamente explicados. Entretanto, se faz necessário que outros cursos sejam promovidos para garantir a capacitação continuada.

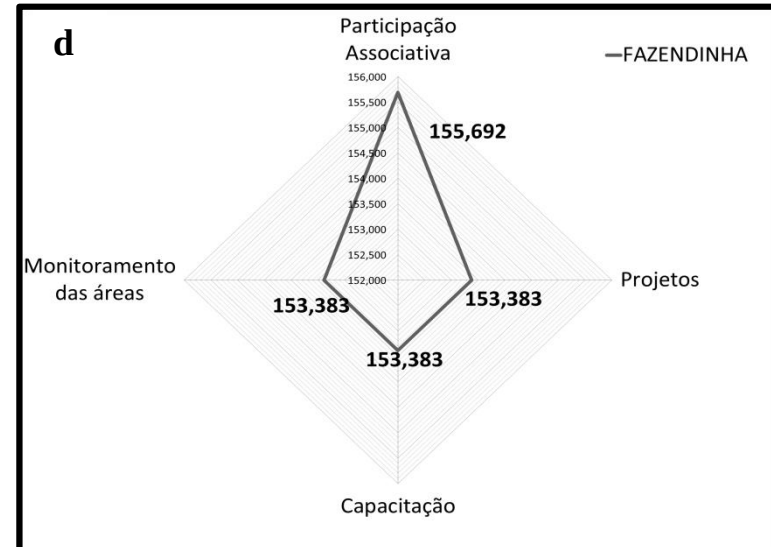
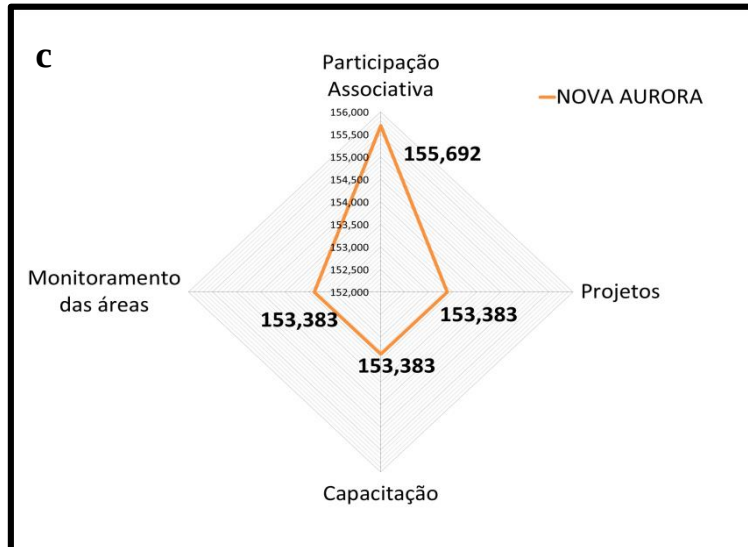
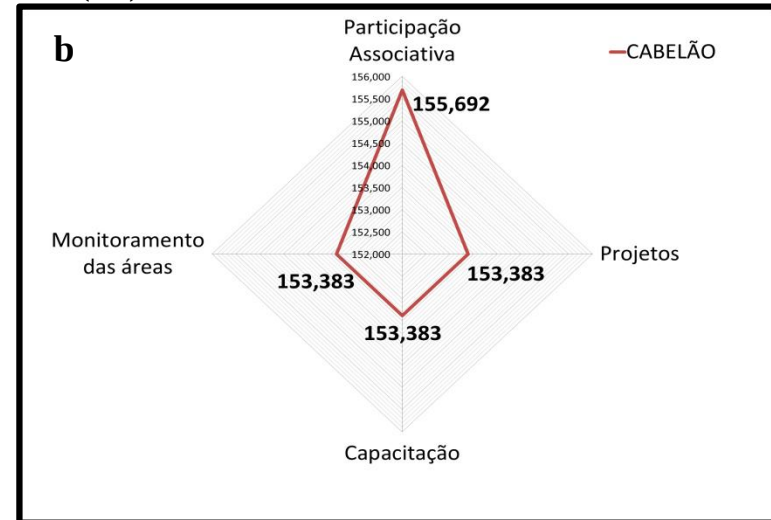
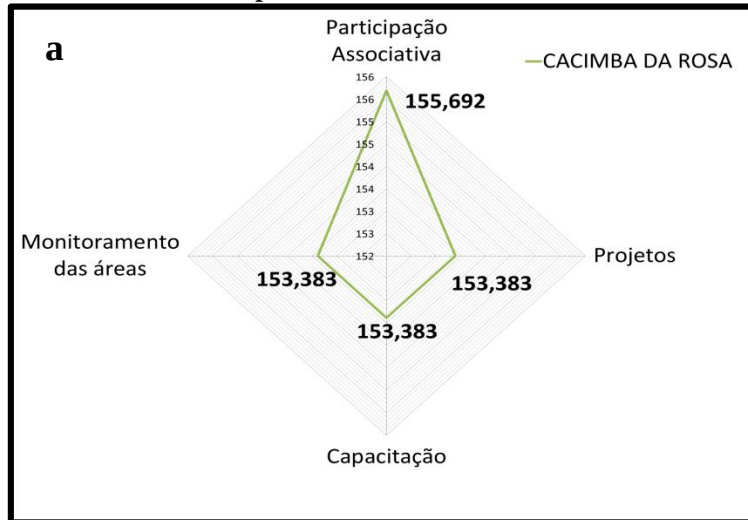
✓ **Monitoramento das áreas**

O monitoramento das áreas tem sido realizado pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), mesmo após o término do projeto “Restauração das nascentes do rio Gramame”. Atualmente, a medição mensal das vazões das nascentes ainda é realizada. Também está em fase de conclusão na UFPB um estudo que, a partir dos dados de vazão, revelará a variação e a quebra na produção de água pela ação antrópica, com a construção do anel viário nas imediações das nascentes Cabelão e Cacimba da Rosa. No entanto, o monitoramento da qualidade da água, durou apenas os três anos de execução deste projeto.

Afora o projeto desenvolvido pelo Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental – LARHENA da UFPB, não foram relatados outros que tivessem o objetivo de realizar o monitoramento das áreas, mapeamento da vegetação, ou um maior conhecimento sobre o comportamento hidrogeológico do aquífero livre em torno das nascentes pesquisadas.

Diante desse contexto, os índices de sustentabilidade institucional revelaram o mesmo desempenho, visto que tiveram a mesma pontuação para todas as áreas estudadas. Contudo, o indicador participação associativa, atingiu um bom desempenho por representar efetivamente as comunidades agrícolas em torno das nascentes. Uma melhor visualização do comportamento desses índices pode ser obtida do Gráfico 4.15 a seguir.

Gráficos 4.15 Desempenho dos indicadores de sustentabilidade da dimensão institucional (IDI)



Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Dessa forma, o índice final da sustentabilidade ambiental da dimensão institucional encontrada para cada área circunvizinha às captações das nascentes estudadas está apresentado na Tabela 4.14 a seguir.

Tabela 4.14 Índices finais da sustentabilidade institucional das áreas circunvizinhas às nascentes

NASCENTES	ÁREA DOS TRIÂNGULOS	ÍNDICE FINAL
Cacimba da Rosa	23614,183	154,027
Cabelão	23614,183	154,027
Nova Aurora	23614,183	154,027
Fazendinha	23614,183	154,027

Fonte: Pesquisa de campo (2012).

Legenda:

SUSTENTÁVEL	QUASE SUSTENTÁVEL	INTERMEDIÁRIO	INSUSTENTÁVEL
-------------	-------------------	---------------	---------------

Os índices de sustentabilidade da dimensão institucional apresentaram os mesmos resultados para todas as áreas, visto que os indicadores que a compõem não obtiveram bom desempenho e resultou na **insustentabilidade** para esta dimensão.

Diante do exposto, o Quadro 4.5 apresenta o panorama do comportamento dos indicadores que impulsionaram o maior desempenho da sustentabilidade da área em torno da nascente Nova Aurora.

Quadro 4.5 Indicadores e subindicadores que impulsionaram a sustentabilidade da área da nascente Nova Aurora

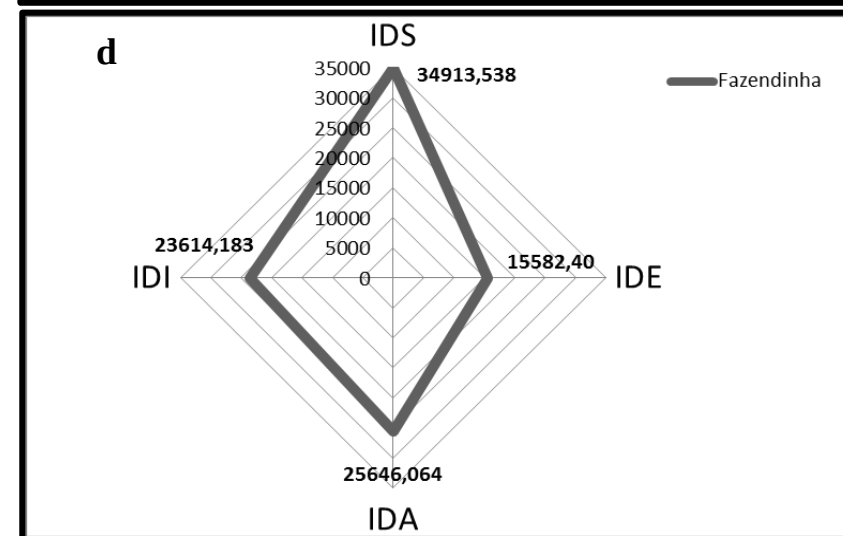
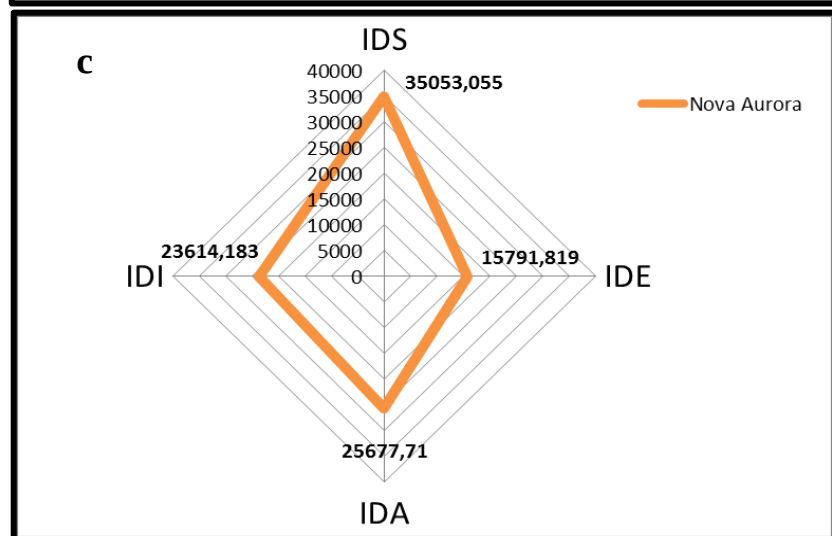
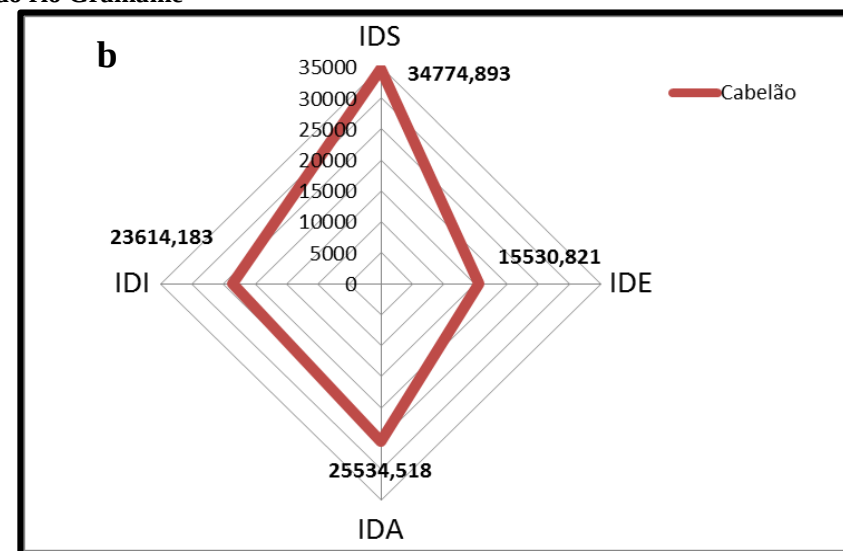
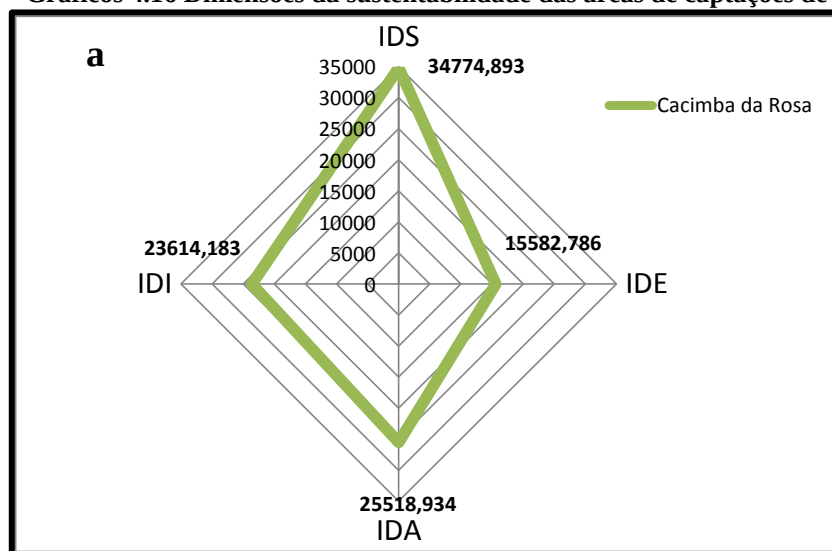
DIMENSÃO	INDICADOR/SUBINDICADOR	NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE
Social	Densidade populacional	QUASE SUSTENTÁVEL
	Doenças de veiculação hídrica	
	Densidade habitacional	
	Escolaridade	
Econômica	Renda familiar	SUSTENTÁVEL
	Acesso a crédito	
	Produção	
Ambiental	Precipitação	SUSTENTÁVEL
	Coliformes	
	Cor	
	Cloretos	
	Nitrato	
	Amônia	
	DBO	
Institucional	Participação associativa	SUSTENTÁVEL

Legenda:

SUSTENTÁVEL	QUASE SUSTENTÁVEL
-------------	-------------------

Pode-se afirmar então que, dentre as quatro nascentes estudadas, a área em torno da comunidade Nova Aurora apresentou maior área do triângulo no gráfico de radar. O Gráfico 4.16 mostra a plotagem das 4 áreas do triângulo calculadas.

Gráficos 4.16 Dimensões da sustentabilidade das áreas de captações de nascentes do rio Gramame

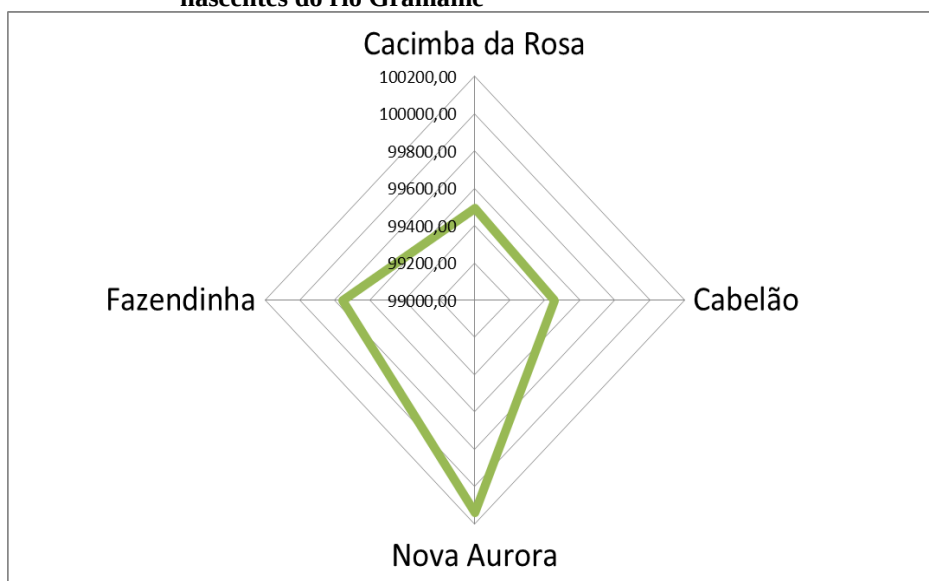


Fonte: Pesquisa de campo (2012).

4.3 Índice de Sustentabilidade Hidroambiental (ISH)

Por meio da metodologia aplicada, é possível visualizar que os dados processados na planilha eletrônica ilustram a maior área do triângulo, e consequentemente, a maior sustentabilidade hidroambiental para as áreas circunvizinhas às captações das nascentes das comunidades Nova Aurora e Fazendinha, respectivamente. O gráfico 4.17 apresenta o cálculo final de todas as áreas dos triângulos para as áreas de nascentes estudadas.

Gráficos 4.17 Nível de sustentabilidade hidroambiental das áreas de captações de nascentes do rio Gramame



Fonte: Pesquisa de campo (2012).

As áreas das nascentes Cacimba da Rosa e Cabelão apresentaram menores desempenhos em seus indicadores, pois, a ação antrópica é marcante e interfere pontualmente nas quatro dimensões pesquisadas. Apesar disso, percebeu-se ainda, que alguns indicadores nas áreas periurbanas demonstraram o corolário correspondente à sustentabilidade e/ou quase sustentabilidade, como, por exemplo, os indicadores de densidade habitacional, escolaridade, acesso a crédito, renda familiar, coleta de resíduos, abastecimento de água, os subindicadores de qualidade de água cor, amônia e DBO, vazão (Cacimba da Rosa) e pluviosidade. Entretanto, esses bons desempenhos de indicadores não conseguiram alavancar o melhor desempenho geral do conjunto de indicadores dessas áreas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

[...]

A minha vida é um vendaval que se soltou,
É uma onda que se alevantou,
É um átomo a mais que se animou...
Não sei por onde vou,
Não sei para onde vou
Sei que não vou por aí!

Cântico Negro, José Régio, 1925.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando-se as premissas dos modelos apresentados nesse estudo sobre a avaliação da sustentabilidade e trazendo-os para a escala local, ou seja, da área de estudo, foi possível extrair uma série de conclusões e recomendações para a questão que norteou esta dissertação “qual é a condição de sustentabilidade hidroambiental das circunvizinhanças às captações das nascentes Cacimba da Rosa, Cabelão, Nova Aurora e Fazendinha na bacia hidrográfica do rio Gramame/PB, no município de Pedras de Fogo?” Contudo, antes de responder à questão, são necessários alguns comentários:

- O município de Pedras de Fogo é rico em água, principalmente a subterrânea. Contudo, é importante manter as vazões das nascentes do rio Gramame e também dos seus afluentes, para abastecer o município. Ressalta-se ainda, que a cidade de João Pessoa e sua região metropolitana são abastecidas, diariamente, através do reservatório Gramame/Mamuaba.
- Esse município tem como uma das atividades principais a agricultura irrigada, sendo motivo de preocupação a aplicação de compostos corretivos ao solo, muitas vezes de forma inadequada, sem falar no uso de fertilizantes à base de nitrogênio, que transferem ao solo e posteriormente à água quantidades significativas deste composto que, através do seu ciclo é convertido em nitrato.
- As quatro captações das nascentes fornecem água para as comunidades agrícolas locais, para seus diversos usos, tornando-se bastante importantes, principalmente, nos períodos secos.
- A nascente Cabelão apresentou fragilidade da vazão de água, ocorrendo diminuição, ao longo do período desta pesquisa, muito embora tendo apresentado alta capacidade de recarga quando houve precipitações de chuvas de valores mais elevados.
- Muitos dos problemas ocorridos durante o estabelecimento de agricultores nos dois assentamentos (Nova Aurora e Fazendinha) decorreram do pouco conhecimento da população local sobre área de preservação, bem como pela falta de atenção do Incra.
- A população residente em torno das captações de nascentes tem o hábito de lavar roupas diretamente sobre a laje que as protegem, ocasionando além da poluição do solo, o comprometimento da qualidade de suas águas.

- No entanto, verificou-se que a água das nascentes estudadas apresentou, no geral, valores médios de seus parâmetros de qualidade dentro dos limites máximos permitidos pela Resolução Conama nº 357/2005 para as classes, I e II.

Entre as ferramentas e modelos para determinação de índices de sustentabilidade, a metodologia aplicada neste estudo se destacou tanto pela facilidade de uso, pela clareza na representação dos resultados quanto pela mensuração da condição de sustentabilidade hidroambiental das áreas circunvizinhas às captações das nascentes Cacimba da Rosa, Cabelão, Nova Aurora e Fazendinha na bacia hidrográfica do rio Gramame/PB, no município de Pedras de Fogo.

Verificou-se, então, que alguns indicadores, como exemplos, defensivo agrícola, hospitais/PSF, monitoramento das áreas, capacitação e projetos, apresentaram desempenho insustentável em todas as áreas de captação das nascentes. Dessa forma, faz-se necessário a execução de políticas públicas que revertam esse cenário que abrange a dimensões social, ambiental e institucional. Alguns indicadores foram insustentáveis em algumas áreas pontuais, confirmando a variação dos níveis de sustentabilidade encontrada.

Após a compilação de todos os dados, pode-se concluir que a área da captação circunvizinha à nascente da comunidade Nova Aurora obteve o melhor desempenho do conjunto de seus indicadores, apresentando o cenário mais sustentável comparando-se com as outras áreas. A área da nascente da comunidade Fazendinha atingiu a classificação de quase sustentável. Já as áreas das captações em torno das nascentes Cacimba da Rosa e Cabelão, atingiram o nível mais próximo à insustentabilidade. Assim, constatou-se que os níveis de sustentabilidade hidroambiental, no geral, necessitam ser melhorados, principalmente, nas áreas periurbanas, por meio de políticas públicas de conservação de todas as nascentes.

A falta de investimentos dos poderes públicos municipal e estadual colaboram para que as quatro áreas continuem em estado de degradação e assim, apresentem níveis de estado de alerta quanto à sustentabilidade hidroambiental. Essas políticas deveriam focar questões de educação ambiental, capacitação, monitoramento das áreas e execução de projetos visando a preservação dessas nascentes. Recomenda-se, então, como uma das principais intervenções do poder público municipal ou estadual, a implantação de um sistema adequado de coleta, transporte e tratamento de efluentes domésticos e a gestão integrada de resíduos sólidos.

Sugerem-se ainda, tomadas de ações que assegurem a permanência de todos os parâmetros de qualidade da água dentro dos padrões de qualidade estabelecidos para a classe I

de qualidade, sugerida pela legislação e a continuidade sistemática do monitoramento das nascentes. Além disso, realizar o mapeamento da vegetação e a investigação para conhecer o comportamento hidrogeológico do aquífero livre em torno das nascentes pesquisadas.

O sistema de indicadores utilizado neste estudo deve embasar as tomadas de decisões para melhorar a sustentabilidade hidroambiental das nascentes e ser reaplicado para acompanhamento do desempenho dos indicadores e seus índices. Além disso, entende-se que a metodologia utilizada nesta pesquisa deve ser testada para medir o nível de sustentabilidade hidroambiental em outras áreas de nascentes como também, em comunidades que praticam agricultura familiar. Deve-se, ainda, buscar o apoio do poder público e de empresas privadas para prover a população de assistência técnica e de informações sobre questões que perpassem pela proteção das nascentes como também, pelo uso racional da água.

Finalmente, medir e avaliar sustentabilidade são processos complexos e multidimensionais, visto a gama de informações e abrangência de variáveis. As propostas de Calório (1997) e Daniel (2000) em áreas de nascentes são uma inovação e necessitam que sejam validados os resultados com a reaplicação do método por outras pesquisas científicas para que, dessa forma, possam ser adotadas como ferramentas de mensuração da sustentabilidade para os órgãos de controle ambiental da Paraíba e outros estados da Federação.

REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. **Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, v. 2, 1988, p.753-760.

ANÁLISE do potencial de ações integradas para a restauração das funções ecológicas nas nascentes do rio Gramame (PB), sob a influência de unidades rurais de produção familiar. Edital MCT/CNPq/CT-Agronegócio/CT-Hidro-27/2008. Hamilcar José de Almeida Filgueira (Coord.). Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal da Paraíba. Relatório Final, 2012.

APHA/AWWA/WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th edition. Public Health Association. New York, 2005.

BARBIERI, J. C. Desenvolvimento sustentável regional e municipal: conceitos, problemas e pontos de partida. **Administração On Line**. v. 1, n. 4, 2000. Disponível em: <http://www.fecap.br/adm_online/art14/barbieri.html> Acesso em: 16 mai 2012.

BARBOSA, J. A.; NEUMANN, V. H.; LIMA FILHO, M. F.; SOUZA, E. M. de.; MORAES, M. A. de. Estratigrafia da Faixa Costeira Recife-Natal (Bacia da Paraíba e Plataforma de Natal), NE Brasil. **Coleção Estudos Geológicos**, v.17, 2007, p.3-30.

BARBOSA, J. A.; SOUZA, É. M.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. A estratigrafia da bacia Paraíba: uma reconsideração. **Coleção Estudos Geológicos**. Recife, v. 13. p. 89-108. 2003.

BELLEN, H. M. van. **Indicadores de Sustentabilidade**: uma análise comparativa. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

BOSSEL, H. Assessing progress. In: **Earth at a crossroads**: paths to a sustainable future. New Yourk: Cambridge University Press, 1998.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). **Resolução Conama nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2005.

BRASIL. República Federativa. **Lei nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Institui o novo código florestal brasileiro. Brasília/DF: Diário Oficial da União, 28 de maio de 2012.

BRASIL. República Federativa. **Lei nº 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília/DF: Diário Oficial da União, 9 de janeiro de 1997.

BRASIL. **Resolução Conama nº 303**, de 20 de março de 2002. Ministério do Meio Ambiente, Brasília/DF, Diário Oficial da União, 2002.

BRUINS, H. J. *et al.* Degradation of springs in the Arava Valley: anthropogenic and Climatic factors. **Land Degradation & Development**. v.23. p.365–383, 2012.

BUARQUE, S. C. **Construindo o desenvolvimento local sustentável**: metodologia de planejamento. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

CABRAL DA SILVA, T. *et al.* Avaliação de captações de águas de nascentes na bacia do rio Gramame. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Maceió/AL, 2011.

CALHEIROS, et. al. **Preservação e conservação de nascentes**. Comitê de bacias hidrográficas. Piracicaba/São Paulo, 2004.

CALÓRIO, C.M. **Análise da sustentabilidade em estabelecimentos agrícolas familiares no Vale do Guaporé/MT**. Cuiabá: UFMT, 105p. 1997. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, 1997.

CAMPOS, J. N. B. **Vulnerabilidades hidrológicas do Semiárido às secas**. 1997. Disponível em: <<http://ipea.gov.br/pub/ppp/PPP16/PARTE8.doc>> Acesso em 14 mar 2012.

CÂNDIDO, G. A. **A aplicação das dimensões do desenvolvimento sustentável e os níveis da competitividade sistêmica**: um estudo comparativo entre regiões produtoras de calçados no Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. 210 p. Campina Grande, 2004.

CARMO, J. P. A.; DIEGO, P. O. S. A bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. **Anais...** XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Realizado de 25 a 31 de julho de 2010. Porto Alegre - ISBN 978-85-99907-02-3.

CARVALHO, J. R. M. de; CÂNDIDO, G. A.; CURI, W. F.; CARVALHO, E. K. M. de A. Proposta e validação de indicadores de sustentabilidade hidroambiental para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do rio Piranhas, PB. In: **Anais...** VII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO. Rio de Janeiro, 12 e 13 de agosto de 2011.

CARVALHO, M. G. F. **Classificação geomorfológica do Estado da Paraíba**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1988.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.339-352, 2006.

CASTRO, P. S. **Recuperação e conservação de nascentes**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas – CPT, 2007. 272p.

CASTRO, P. S.; GOMES, M. A. **Técnicas de conservação de nascentes**. Ação Ambiental. Viçosa: Editora da Universidade- UFV, 2001. p.24-26.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher. Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, 1981.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

COELHO, V. H. R.; ALMEIDA, C. das N.; SILANS, A. M. B. P. de. Análise da Flutuação do Nível D'água para Estimativa da Recarga Subterrânea da Bacia Representativa do Rio Gramame no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.17 n.2, Abr./Jun. 2012, pp.241-252.

COSTA, F. F. **Avaliação ambiental em áreas de nascentes na bacia hidrográfica do alto rio Gramame - PB**, 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB, 2011.

DAKER, A. **Captação, elevação e melhoramento da água**: a água na agricultura, v. 2. 6. ed. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1983, 408p.

DANIEL, O. **Definição de Indicadores de Sustentabilidade para Sistemas Agroflorestais**. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, 112f. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2000.

DANIEL, O.; COUTO, L.; SILVA, E.; GARCIA, R.; JUNCKSCH, I.; PASSOS, C. A. M. Alternativa a um método para determinação de um índice de Sustentabilidade. Viçosa/MG: **Revista Árvore**, v.25, n.4, p.455-462, 2001.

DAVIDE, A. C.; FERREIRA, R. A.; FARIA, J. M. R.; BOTELHO, S. A. Restauração de matas ciliares. **Informe Agropecuário**, v.21, n. 207, p.65-74, 2000.

DAVIS, S. N.; DE Wiest, R. J. M. **Hydrogeology**. New York: John Wiley, 1966. 463 p.

DI LORENZO, I. D. N. **Reflorestamento das áreas de nascentes do município de Pedras de Fogo**. Pedras de Fogo, PB: EMATER/PB, 2007. 14 p.

EEA – European Environment Agency. **Questions to be answered by a state-of-the-environment report**. Copenhagen: European Environment Agency, 2000. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu>> Acesso em: 13 mai 2012.

EPA. **A conceptual framework to support development and use of environmental informations in decision-making**. 1995. Disponível em: <<http://www.epa.gov/indicator/frame/contents.html>> Acesso em: 13 mai 2012.

FELIPPE, M.; LAVARINI C.; PEIFER D.; DOLABELA, D.; MAGALHÃES JÚNIOR. A. (2009). Espacialização e Caracterização das Nascentes em Unidades de Conservação de Belo Horizonte/BH. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande/MS. **Anais...** em CD-ROM. 18p.

FELIPPE, M.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. Impactos ambientais macroscópicos e qualidade das águas em nascentes de parques municipais em Belo Horizonte/MG. Belo Horizonte: **Revista Geografias**, 08(2), pp.08-23, 2012.

FERREIRA, M. J.; PEREIRA, I. M.; BOTELHO, S. A.; MELLO, C. R. de. Avaliação da regeneração natural em nascentes perturbadas no município de Lavras, MG. Santa Maria/RS: **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 109-129, abr.-jun., 2009.

FERREIRA, R. A.; AGUIAR NETTO, A. de O., SANTOS, T. I. S., SANTOS, B. L.; MATOS, E. L. de. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio Poxim, estado de Sergipe: da degradação à restauração. Viçosa/MG: **Revista Árvore**, v. 35, n.2, p.265-277, 2011.

FILGUEIRA, H. J. A. *et al.* Caracterização de captações de águas de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, Paraíba, Brasil: avaliação quali-quantitativa e de uso de suas águas. In SEREA - SEMINÁRIO IBEROAMERICANO SOBRE SISTEMAS DE

ABASTECIMENTO URBANO DE ÁGUA, **Anais...** SEREA, Coimbra (Portugal), 2 a 4 de julho de 2012.

FRANÇA, L. P. **Indicadores ambientais urbanos**. Revisão da literatura. Consórcio Parceria 21 (ISER, IBAM, REDEH), 2001.

FRY, L. M. Climate change and development impacts on the sustainability of spring-fed water supply systems in the Alto Beni region of Bolivia. **Journal of Hydrology**. 468–469 (2012) 120-129.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENESES, L. F. Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. **Geologia USP Série Científica**, v.6, 2006, p.61-70.

GALLOPIN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A system approach. *Environmental Modeling and Assessment*, n. 1, p. 101-117, 1996.

GUIMARÃES, L. T. **Proposta de um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável para Bacias Hidrográficas**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2008.

HAMMOND, A.; ADRIAANSE, A.; RODENBURG, E. *et al.* **Environmental Indicators: a Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development**. Washington: WRI, 1995. 53p.

HARDI, P.; BARG, S. Assessing sustainable development: principles in practice. **Draft paper**, Winnipeg: IISD, 1997.

HECKENDORFF, W. D.; LIMA, P. J. de. Climatologia. In: PARAÍBA. Governo do Estado. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. João Pessoa: Grafset/SEED/UFPB, 1985, p. 34-43.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Base de informações do Censo Demográfico 2010: resultados do universo por setor censitário. Documentação do Arquivo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (IISD). **The dashboard of sustainability**. Canadá: IISD, 1999. Disponível em: <<http://iisd1.iisd.ca/cgsdi/.htm>> Acesso em: 15 mai 2011.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A., COURSEUIL, C. W. **Recursos hídricos e saneamento**. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2008. 160p.

KOPERSKI, P., DUMNICKA, E., GALAS, J. Abiotic parameters determining fauna composition in karstic springs. **Polish Journal of Ecology**. 59, 1: 153–163, 2011. (Regular research paper).

LIMA, W. DE P. **Hidrologia Florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: USP/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1996.

LIMEIRA, M. C. M.; BARBOSA, J. M.; FILGUEIRA, H. J. A.; SILVA, T. C. da. Métodos de pagamento de serviços ecossistêmicos e proposta para a restauração de nascentes do rio Gramame no Estado da Paraíba. In: World Water Congress (WWC), 14; Simpósio de

Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (SILUSBA), 10. Porto de Galinhas, PE, 25 a 29 de outubro de 2010, Porto de Galinha, PE. **Proceedings...** . Porto de Galinha, PE: International Water Resources Association – IWRA, ABRH, APRH, 2011. 15 p. (CD-ROM).

LINHARES, F. M. **Vulnerabilidade intrínseca e risco de contaminação do aquífero livre da bacia hidrográfica do rio Gramame/PB**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012, 87p.

LUZ, M. A. S. Indicadores de sustentabilidade para o município de Santa Luzia (PB). **Veredas**, n. 1, p. 109-121, 2002.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos**: Realidade e Perspectivas para o Brasil a partir da Experiência Francesa. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; CORDEIRO NETTO, O. de M.; NASCIMENTO, N. de O. Os Indicadores como Instrumentos Potenciais de Gestão das Águas no Atual Contexto Legal-Institucional do Brasil: Resultados de um Painel de Especialistas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.4, Out./Dez., pp. 49-67, 2003.

MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. **Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM)**: metodologia para análise e cálculo do IDSM e classificação dos níveis de sustentabilidade – uma aplicação no Estado da Paraíba. João Pessoa: Sebrae/PB, 2008.

MARZALL, K.; ALMEIDA, J. O estado da arte dos indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE POTENCIALIDADES E LIMITES DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Santa Maria: UFSM-UNI, 1999. Disponível em: <www.ufgs.br/pgdr/textosabertos/indicadores/de/sustentabilidade-v-2> Acesso em 12 abr 2012.

MENEZES, M. D. de; JUNQUEIRA JÚNIOR, A. J.; MELLO, C. R. de, SILVA, A. M. da, CURI, N.; MARQUES, J. J. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha – Serra da Mantiqueira (MG). **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, jun. 2009.

MENTE, A. A água subterrânea no Brasil. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. (Orgs.). **A Hidrogeologia**: conceitos e aplicações. Rio de Janeiro/RJ: CPRM-LABHID, 2008, p.31-48.

MOLDAN, B.; BILL HARZ, S. **Sustainable Indicators**: report of the project on Indieators of sustentable development. Chichester: Jonh Willey & L. td, 1997.

MONTIBELLER-FILHO, G. **O mito do desenvolvimento sustentável**: meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias. Florianópolis: editora da UFCS, 2004.

MORA, M. A.; GRANT, W. E.; WILKINS, L.; WANG, Hsiao-Hsuan. Simulated effects of reduced spring flow from the Edwards Aquifer on population size of the fountain darter (*Etheostoma fonticola*). **Ecological Modelling**, 250: 235-243, 2013.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL BOARD ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Our Common Journey: A Transition Toward Sustainability. **National Academy Press**, Washington, DC, 1999.

OECD. Organization for Economic Cooperation and Development. **Core set of indicators for environmental performance reviews**. Paris: OECD, 1994.

OLIVEIRA, P. C. A. **Cenários ambientais e diagnose da bacia hidrográfica do córrego Guaribas, Uberlândia-MG**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba, Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Gramame**. v. 1. João Pessoa, PB: Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais, 2000. 247p. (Relatório Final).

PINTO, L. V. A.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 65, p. 197-206, 2004.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). Relatório do Desenvolvimento Humano-RDH. 2006. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br.rdh>> Acesso em: 22 de nov 2012.

RESENDE, H. C.; MENDES, D. R.; MENDES, J. E. das G.; BERNARDES, W. A. Diagnóstico e ações de conservação e recuperação para as nascentes do Córrego-Feio, Patrocínio, MG. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n. 5, p. 112-119, Sept./Oct. 2009.

RIBEIRO, A. L. **Sistemas, indicadores e desenvolvimento sustentável**. 2000. Disponível em <<http://www.geocities.com/adagenor>> Acesso em: 15 jun 2012.

ROMA, T. N. **Avaliação quali-quantitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em suas áreas de recarga**. Monografia. Escola Agrotécnica de Inconfidentes, MG. 2008, 51p.

SACHS, I. **Estratégias de transição para o século XXI: desenvolvimento e meio ambiente**. São Paulo: Studio Nobel e Fundação de Desenvolvimento Administrativo, 1993.

SANTOS, F. C. B. dos. **Desenvolvimento e análise de um índice de sustentabilidade energética utilizando lógica Fuzzy**. Dissertação (Mestrado). 2010, 137f. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo. 2010a.

SANTOS, M. J. dos. **Programa um milhão de cisternas rurais: proposição de um sistema de indicadores de avaliação de sustentabilidade SIAVS-P1MC**. Tese (Doutorado). 2010, 242f. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Pós-Graduação e Recursos Naturais. Campina Grande, 2010b.

SANTOS, R. B. **Avaliação de intervenções hidráulicas na bacia do rio Gramame-PB com uso das técnicas de análise multiobjetivo e multicriterial**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009, 184p.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental**: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004, 184p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM). **Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba**. 2002. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/geobank.download.downloadlayouts?p_webmap=N> Acessado em 21 12 2012.

SILVA, A. M. da; CORREIA, A. M. M.; CÂNDIDO, G. A. Avaliação da Sustentabilidade no Município de João Pessoa, PB. In: CÂNDIDO, G. A. (Org.). **Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade**: Formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas. Campina Grande, PB: Ed. UFCG, 2010.

SILVA, L. C. S. S. Diagnostico ambiental preliminar da sub bacia do rio Piauitinga/Se. In: FONTES, A. L. **Agricultura e meio ambiente**: Sistemas agrícolas e sustentabilidade ambiental na sub bacia do rio Piauitinga-Se. Relatório Final. Agosto 2001/2002, 102 p.

SOARES, J. C. de O. **Estudo de nascentes**: subsidio a politicas de gestão da sub-bacia hidrográfica do córrego Caeté no sudoeste do Estado de Mato Grosso-Brasil. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Caceres/MT: UNEMAT, 2009. 105 f.

SOARES, J. C. de O.; SOUZA, C. A. de; PIERANGELI, M. A. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do córrego Caeté/MT: estudo do uso, topografia e solo como subsídio para gestão. Taubaté/SP: **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. v. 6, n. 1, p. 22-51, jan-abr/2010.

SOUZA, R. M. (Org.) *et al.* **Território, planejamento e sustentabilidade**: conceitos e práticas. São Cristóvão/SE: Editora UFS, 2009.

SWART, R., *et al.* Critical challenges for sustainability science. **Science**, 297, 2002, p.1994-1995.

TUNDISI, J. G. **Limnologia do século XXI**: perspectivas e desafios. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, IIE, 2003, 24 p.

TUNSTALL, D. **Developing and Using Indicators of Sustainable Development in Africa**: An Overview. Thematic Workshop on Indicators of Sustainable Development, Gambia 1994. (Banjul: Network for Environment and Sustainable Development in Africa).

TUNSTALL, D. **Developing Environmental Indicators**: Definitions, framework and issues. Background Materials for the World Resources Institute. Workshop on Global Environmental Indicators, Washington 1992. (Washington, DC: World Resource Institute).

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes**: hidrologia e manejo de bacias hidrográficas de cabeceiras. Aprenda Fácil, Viçosa, 2005.

VIEIRA, P. M. S.; STUDART, T. M. C. Proposta Metodológica para o Desenvolvimento de um Índice de Sustentabilidade Hidroambiental de Áreas Serranas no Semiárido Brasileiro - Estudo de Caso: Maciço de Baturité, Ceará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 14 n.4 Out/Dez, 2009, 125-136.

VIEIRA, V. P. P. B. Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do Semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 1. n. 1. Jan/Jun, 1996, p. 89-107.

VILAÇA, M. F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso da bacia do Ribeirão Conquista no município de Itaguara/MG. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, **Anais...** Viçosa/MG, 2009.

XU, Fu-Liu. A triangle model for evaluating the sustainability status and trends of economic development. **Ecological Modeling**. 195, 327-337, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE 1

Tabela 1 Resultado estatístico dos valores das análises físico-químicas dos parâmetros das amostras de água das nascentes, no período de 2010-2012

Parâmetros	Cabelão				Cacimba da Rosa				Nova Aurora				Fazendinha				VMP - CONAMA 357	
	Méd.	Mín.	Máx.	Desv.	Méd.	Mín.	Máx.	Desv.	Méd.	Mín.	Máx.	Desv.	Méd.	Mín.	Máx.	Desv.	Classe I	Classe II
Temperatura (°C)	27,6	26,0	29,4	0,9	28,4	27,5	29,0	0,6	27,6	26,7	28,8	0,6	26,5	24,0	27,6	1,1	*	*
pH (à 25°C)	5,1	4,2	6,2	0,8	5,4	5,2	6,0	0,3	5,4	5,1	6,4	0,4	5,6	5,3	6,0	0,2	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Cor verdadeira (mg Pt L ⁻¹)	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	30,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,0	40,0	14,2	**	75,0
Turbidez (UNT)	0,6	0,0	2,5	0,7	2,9	0,0	24,7	7,3	1,2	0,2	3,1	1,0	8,4	0,8	17,9	6,7	40,0	100,0
Condutividade (µS/cm à 25°C)	600,4	457,0	706,0	81,7	408,3	279,0	504,0	69,6	105,6	87,5	170,0	22,6	103,5	87,4	121,5	12,0	*	*
SDT (mg L ⁻¹)	296,8	234,0	371,0	41,3	203,7	151,7	246,0	30,6	50,2	45,5	57,2	3,8	50,9	44,0	60,7	6,3	500,0	500,0
Alcalinidade (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	7,8	1,0	15,0	4,6	18,4	13,7	22,0	2,5	7,8	4,9	18,3	3,7	20,8	15,6	31,0	5,0	*	*
Acidez (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	25,1	10,5	57,0	15,1	48,2	8,0	82,1	27,3	16,7	5,0	31,0	9,4	29,3	10,0	41,0	11,8	*	*
Cloreto total (mg L ⁻¹ Cl ⁻)	131,6	110,0	137,7	7,9	103,0	82,4	116,0	8,4	20,4	7,4	40,0	8,6	20,2	11,8	29,5	5,2	250,0	250,0
Dureza total (mg L ⁻¹ CaCO ₃)	72,4	48,5	120,0	18,5	85,4	42,4	105,0	19,1	16,9	10,1	24,0	4,7	13,5	11,1	17,2	2,0	*	*
Sulfato total (mg L ⁻¹ SO ₄ ⁻)	0,4	0,0	4,2	1,3	1,9	0,0	8,6	3,3	0,3	0,0	3,5	1,1	0,9	0,0	5,0	1,7	250,0	250,0
DBO (mg L ⁻¹ O ₂)	0,6	0,0	1,9	0,7	1,5	0,0	3,8	1,3	0,7	0,0	2,7	0,9	1,3	0,1	2,7	1,0	3,0	5,0
OD (mg L ⁻¹ O ₂)	7,0	5,3	8,8	1,2	4,8	1,8	8,2	2,1	5,8	4,0	7,0	1,0	2,8	0,5	7,0	2,8	6 ⁽¹⁾	5 ⁽¹⁾
OC (mg L ⁻¹ O ₂)	0,7	0,2	1,1	0,3	0,7	0,1	2,2	0,7	0,1	0,0	0,3	0,1	0,8	0,0	2,8	1,0	*	*
Amônia (mg L ⁻¹ N)	0,5	0,1	1,7	0,5	0,5	0,1	2,1	0,6	0,6	0,1	2,7	0,7	0,3	0,1	0,8	0,2	3,7***	3,7***
Nitrito (mg L ⁻¹ N)	0,4	0,0	1,2	0,5	0,5	0,0	2,3	0,7	0,4	0,0	1,0	0,4	0,2	0,0	0,8	0,3	1,0	1,0
Nitrato (mg L ⁻¹ N)	17,4	0,3	30,9	13,3	12,9	0,4	19,4	7,1	3,4	0,5	5,2	1,9	2,2	1,6	2,6	0,4	10,0	10,0

VMP - Valor Máximo Permitido, segundo a Resolução nº 357 do CONAMA.

(1) - Valor Mínimo permitido

(*) - Não é citado na Resolução nº 357 do CONAMA.

(**) - Nas águas de classe I deverão ser mantidos os níveis de cor natural do corpo de água em mg Pt L⁻¹.(***) - Nas águas com o pH ≤ 7,5 deverão ser mantidos os níveis de amônia do corpo de água menores ou iguais a 3,7 mg L⁻¹N, para ambas as classes consideradas.

PLANILHA DE CÁLCULOS IDS FINAL 09.03.2013 PARA JUNTAR TUDO - Microsoft Excel

Arquivo

Página Inicial

Inserir

Layout da Página

Fórmulas

Dados

Revisão

Exibição

Calibri

11

A^A

Quebrar Texto Automaticamente

Geral

Formatação Condicional

Formatar como Tabela

Estilos de Célula

Inserir

Excluir

Formatar

AutoSoma

Preencher

Limpar

Classificar e Filtrar

Localizar e Selecionar

Colar

Área de Tran...

Fonte

Alinhamento

Número

Estilo

Células

Edição

K9

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	PLANILHA DE CÁLCULO DE INDICADORES												
2													
3													
4													
5	DIMENSÃO DO INDICADOR												
6													
7	INDICADORES SOCIAIS - IDS												
8	ORDEM DA NASCENTE	POPULAÇÃO	SAÚDE		EDUCAÇÃO	HABITAÇÃO							
9		DENSIDADE POPULACIONAL	Hospitais/PSF	DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA	ESCOLARIDADE	DENSIDADE HABITACIONAL							
10	CACIMBA DA ROSA	0,5	0,25	0,25	0,75	1							
11	CABELÃO	0,25	0,25	0,25	1	1							
12	NOVA AURORA	1	0,25	1	0,75	0,75							
13	FAZENDINHA	1	0,25	0,75	0,5	0,75							
14													
15													
16													

DIMENSÃO DO INDICADOR

PADRONIZAÇÃO DO INDICADOR

LADO DESCONHECIDO DO TRIÂNGULO

SEMPERÍMETRO DOI

PLANILHA DE CÁLCULOS IDS FINAL 09.03.2013 PARA JUNTAR TUDO - Microsoft Excel

Arquivo

Página Inicial

Inserir

Layout da Página

Fórmulas

Dados

Revisão

Exibição

Colar

Fonte

Alinhamento

Quebrar Texto Automaticamente

Mesclar e Centralizar

Geral

Número

Formatação Condicional

Formatar como Tabela

Estilos de Célula

Inserir

Excluir

Formatar

Células

AutoSoma

Preencher

Limpar

Classificar e Filtrar

Localizar e Selecionar

Edição

A14

$\sum$

CACIMBA DA ROSA

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	PLANILHA DE CÁLCULO DE INDICADORES												
2													
3													
4													
5	MÉDIA DAS DIMENSÕES DO INDICADORES					DESVIO PADRÃO DAS DIMENSÕES DO INDICADORES							
6	1					0,31124749							
7													
8													
9	VALOR DO INDICADOR PADRONIZADO												
10													
11	INDICADORES SOCIAIS - IDS												
12	ORDEN DAS NASCENTES	POPULAÇÃO	SAÚDE		EDUCAÇÃO		HABITAÇÃO						
13		Densidade	Hospitais/PSF	Doenças Veiculação	Escolaridade	Densidade habitacional							
14	CACIMBA DA ROSA	160,242	159,439	159,439	161,045	161,849							
15	CABELÃO	159,439	159,439	159,439	161,849	161,849							
16	NOVA AURORA	161,849	159,439	161,849	161,045	161,045							
17	FAZENDINHA	161,849	159,439	161,045	160,242	161,045							
18													
19													
20													
21													
22													

Dimensão do Indicador

PADRONIZAÇÃO DO INDICADOR

LADO DESCONHECIDO DO TRIÂNGULO

SEMI PERÍMETRO DO

Pronto

100%

PLANILHA DE CÁLCULOS IDS FINAL 09.03.2013 PARA JUNTAR TUDO - Microsoft Excel

Arquivo

Página Inicial

Inserir

Layout da Página

Fórmulas

Dados

Revisão

Exibição

Calibri

11

A^A

</

PLANILHA DE CÁLCULOS IDS FINAL 09.03.2013 PARA JUNTAR TUDO - Microsoft Excel

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição

Calibri 11 A A Quebrar Texto Automaticamente Geral

Colar Fonte Alinhamento Número

Formatação Condicional Formatar como Tabela Estilos de Célula Inserir Excluir Formatar Células

AutoSoma Preencher Limpar Classificar e Filtrar Localizar e Selecionar Edição

A11 CACIMBA DA ROSA

PLANILHA DE CÁLCULO DE INDICADORES

SEMIPERÍMETRO DO TRIÂNGULO

ORDEM DAS NASCENTES	INDICADORES SOCIAIS - IDS				
	POPULAÇÃO	SAÚDE		EDUCAÇÃO	HABITAÇÃO
	DENSIDADE POPULACION	HOSPITAIS/POSTOS DE	DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA	ESCOLARIDADE	DENSIDADE HABITACIONAL
11 CACIMBA DA ROSA	204,873	204,357	205,393	206,932	206,422
12 CABELÃO	204,357	204,357	205,916	207,445	205,916
13 NOVA AURORA	205,916	205,916	206,932	206,416	206,932
14 FAZENDINHA	205,916	205,393	205,903	205,903	206,932

PADRONIZAÇÃO DO INDICADOR LADO DESCONHECIDO DO TRIÂNGULO SEMIPERÍMETRO DO TRIÂNGULO ÁREA DO TRI

Pronto 100%

PLANILHA DE CÁLCULOS IDS FINAL 09.03.2013 PARA JUNTAR TUDO - Microsoft Excel

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição

Calibri 14 A A

Colar

Fonte

Alinhamento

Quebrar Texto Automaticamente

Mesclar e Centralizar

Geral

Número

Formatação Condicional

Formatar como Tabela

Estilos de Célula

Inserir

Excluir

Formatar

Células

AutoSoma

Preencher

Limpar

Classificar e Filtrar

Localizar e Selecionar

Edição

A7

ORDEM DAS NASCENTES

PLANILHA DE CÁLCULO DE INDICADORES

ÁREA DO TRIÂNGULO

INDICADORES SOCIAIS - IDS

ORDEM DAS NASCENTES	POPULAÇÃO	SAÚDE	EDUCAÇÃO	HABITAÇÃO
	DENSIDADE POPULACION	Hospitais/PSF	DOENÇAS DE VEICULAÇÃO HÍDRICA	ESCOLARIDADE
CACIMBA DA ROSA	6906,200	6871,583	6940,818	7045,717
CABELÃO	6871,583	6871,583	6975,435	7080,857
NOVA AURORA	6975,435	6975,435	7045,717	7010,750
FAZENDINHA	6975,435	6940,818	6975,784	7045,717

LADO DESCONHECIDO DO TRIÂNGULO SEMIPERÍMETRO DO TRIÂNGULO ÁREA DO TRIÂNGULO SOMA DAS ÁREAS

Pronto

100%

PLANILHA DE CÁLCULOS IDS FINAL 09.03.2013 PARA JUNTAR TUDO - Microsoft Excel

Arquivo Página Inicial Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição

Área de Tran...

Calibri 11

Fonte

Quebrar Texto Automaticamente

Mesclar e Centralizar

Alinhamento

Geral

Número

Formatasão
Condicional

Formatar
como Tabela

Estilos de
Célula

Estilo

Inserir

Excluir

Formatar

Células

Σ AutoSoma

Preencher

Limpar

Classificar
e Filtrar

Localizar e
Selecionar

Edição

H25

fx

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S

PLANILHA DE CÁLCULO DE INDICADORES

SOMA DAS ÁREAS

ORDEM DA
ENTREVISTA

SOMA

CACIMBA DA ROSA

34774,893

CABELÃO

34774,893

NOVA AURORA

35053,055

FAZENDINHA

34913,538

LADO DESCONHECIDO DO TRIÂNGULO

SEMIPERÍMETRO DO TRIÂNGULO

ÁREA DO TRIÂNGULO

SOMA DAS ÁREAS

EST

Pronto 100%

PLANILHA DE CÁLCULOS IDS FINAL 09.03.2013 PARA JUNTAR TUDO - Microsoft Excel

Arquivo

Página Inicial

Inserir

Layout da Página

Fórmulas

Dados

Revisão

Exibição

Calibri

11

A

A

Colar

Área de Tran...

Fonte

Alinhamento

Número

Geral

Formato

Formatar

Estilos de

Inserir

Excluir

Formatar

AutoSoma

Preencher

Limpar

Classificar

Localizar e

Selecionar

Edição

L15

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	PLANILHA DE CÁLCULO DE INDICADORES												
2													
3													
4													
5	CACIMBA DA ROSA												
6													
7			DENSIDADE	HOSPITAIS/POSTOS	DOENÇAS DE	ESCOLARIDADE	DENSIDADE						
8			POPULACIONAL	DE SAÚDE	VEICULAÇÃO	E	HABITACIONAL						
9	DIMENSÃO DO INDICADOR	0,50	0,25	0,25	0,75	1,00							
10	VALOR PADRONIZADO DO INDICADOR	160,2422561	159,4390368	159,4390368	161,0454754	161,8486948							
11	LADO DESCONHECIDO DO TRIÂNGULO	90,06534182	89,83575786	90,30148685	90,97045519	90,75399433							
12	SEMIPERÍMETRO DO TRIÂNGULO	204,8733174	204,3569157	205,3929995	206,9323127	206,4224726							
13	ÁREA DO TRIÂNGULO	6906,200204	6871,582659	6940,817749	7045,716758	7010,576026							
14													
15	SOMA DAS ÁREAS		34774,8934										
16													
17	CABELÃO												
18													
19			DENSIDADE	Hospitais/PSF	DOENÇAS DE	ESCOLARIDADE	DENSIDADE						
20			POPULACIONAL		VEICULAÇÃO	E	HABITACIONAL						
21	DIMENSÃO DO INDICADOR	0,25	0,25	0,25	1,00	1,00							
22	VALOR PADRONIZADO DO INDICADOR	159,4390368	159,4390368	159,4390368	161,8486948	161,8486948							
23	LADO DESCONHECIDO DO TRIÂNGULO	89,83575786	89,83575786	90,54414161	91,19347712	90,54414161							
24	SEMIPERÍMETRO DO TRIÂNGULO	204,3569157	204,3569157	205,9159366	207,4454333	205,9159366							
25	ÁREA DO TRIÂNGULO	6871,582659	6871,582659	6975,435294	7080,85749	6975,435294							
26													
27	SOMA DAS ÁREAS		34774,8934										
28													
29													
30													

SEMIPERÍMETRO DO TRIÂNGULO

ÁREA DO TRIÂNGULO

SOMA DAS ÁREAS

ESTUDO POR NASCENTE

GRÁFICO

Pronto

80%

