



**Universidade Federal de Pernambuco
Centro Acadêmico do Agreste
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental**

TIAGO OLIVEIRA CAETANO

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA DAS ALUVIÕES E AS CARACTERÍSTICAS DE
USO E DEMANDA DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

Caruaru - 2018

TIAGO OLIVEIRA CAETANO

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA DAS ALUVIÕES E AS CARACTERÍSTICAS DE
USO E DEMANDA DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DO SEMIÁRIDO
PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental em 7 de fevereiro de 2018, do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Tecnologia Ambiental.

Orientador: Profº Drº Anderson Luiz Ribeiro de
Paiva

Co-orientador: Profº Drº Artur Paiva Coutinho

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva CRB/4 - 1223

C128d Caetano, Tiago Oliveira.
 Disponibilidade hídrica das aluviões e as características de uso e demanda de água em comunidades rurais do semiárido pernambucano. / Tiago Oliveira Caetano. – 2018. 87f.; il.: 30 cm.

 Orientador: Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.
 Coorientador: Artur Paiva Coutinho
 Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, 2018.
 Inclui Referências.

 1. Água - Consumo (Pernambuco). 2. Abastecimento de água no campo (Pernambuco). 3. Águas subterrâneas (Pernambuco). I. Paiva, Anderson Luiz Ribeiro de (Orientador). II. Coutinho, Artur Paiva (Coorientador). III. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2018-008)

TIAGO OLIVEIRA CAETANO

**DISPONIBILIDADE HÍDRICA DAS ALUVIÕES E AS CARACTERÍSTICAS DE USO E
DEMANDA DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental em 7 de fevereiro de 2018, do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Aprovado em: 07/02/2018.

BANCA EXAMINADORA

Profº Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº Dr. José Almir Cirilo (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profº Dra. Simone Rosa da Silva (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Aos meus pais. A felicidade e o orgulho que vejo neles a cada conquista minha me enche de responsabilidade e alegria.

AGRADECIMENTOS

À minha namorada, Silmara Nepomuceno, parceira em todos os momentos dessa caminhada. Obrigado por tudo!

Aos meus pais, Noelza e Tadeu. O amor, a ajuda e a dedicação de vocês foram mais uma vez essenciais para a conclusão dessa jornada.

Aos amigos e familiares pelo apoio e compreensão em vários momentos.

Ao meu orientador, Professor Anderson Paiva, com quem tenho a enorme satisfação e sorte de conviver e ser orientado desde a graduação.

Ao meu co-orientador, Professor Artur Coutinho, e aos demais membros do DEN (Departamento de Energia Nuclear) da UFPE pela contribuição na realização das análises.

Aos membros da banca, pela compreensão e disposição para que a defesa pudesse acontecer.

À Professora Sylvana Santos, pela participação e contribuições na banca de Qualificação.

Aos meus colegas de pesquisa, Danilo Silva e Wendell Santos, pela parceria em todo esse processo.

À Marcelo Vanderley, Secretário do PPGECA, pela boa vontade sempre apresentada na resolução das questões que lhe cabiam.

Aos Professores do PPGECA.

Aos meus colegas estudantes, foi um prazer enorme conviver e aprender com vocês.

Às professoras Simone Rosa da Silva e Ioná Rameh e a todos os parceiros de trabalho do processo do Cadastro de Usuários da Água no Alto Capibaribe.

À Associação Águas do Nordeste, realizadora, à Petrobrás, patrocinadora e a todos os participantes do projeto Águas de Areias pelas oportunidades concedidas.

À FACEPE pela concessão de bolsa para a realização desta pesquisa.

A todos que torceram e contribuíram para o êxito deste trabalho.

RESUMO

A oferta de água, com qualidade e quantidade necessárias, no semiárido brasileiro é um desafio ainda presente. Este desafio é ainda maior quando se trata de comunidades rurais difusas. A água armazenada nas aluviões é uma alternativa considerável na perspectiva de resolução deste problema. Este trabalho analisou a disponibilidade hídrica da aluvião e as características de uso e demanda de água por comunidades rurais, em rio intermitente no semiárido pernambucano. Buscou-se conhecer o funcionamento do sistema de acumulação de águas nas aluviões a partir da sua caracterização granulométrica, da obtenção dos parâmetros de condutividade hidráulica e porosidade e da estimativa dos recursos exploráveis. Foram identificados os tipos de mananciais hídricos mais relevantes para a região e as características dos usos de suas águas. Os sedimentos que compõem a camada aluvial foram classificados como areias de médias a grossas. A condutividade estimada apresentou faixa de valores entre 10^{-5} e 10^{-4} m/s e a porosidade efetiva calculada variou entre 21,98% e 46,26% nas amostras. Os valores estimados para o potencial de volume de água explorável da camada aluvial a credenciaram como o principal manancial de abastecimento dessas comunidades. A água armazenada nas cisternas é usada quase que exclusivamente nas atividades domésticas mais nobres, enquanto a água armazenada na aluvião é usada prioritariamente nas atividades domésticas menos nobres e nas atividades de agricultura familiar e criação animal.

Palavras-chave: Demanda hídrica. Abastecimento de comunidades rurais. Aluvião.

ABSTRACT

The supply of water, with necessary quality and quantity, in the Brazilian semi arid region is a challenge still present. This challenge is even greater when it comes to rural communities diffuse. The water stored in the alluvium is a considerable alternative in the perspective of solving this problem. This paper analyzed the availability of alluvial water and the characteristics of water use and demand by rural communities, in an intermittent river in the semiarid of Pernambuco state. It was sought to know the gear of the water accumulation system in the alluviums from its granulometric characterization, obtaining the parameters of hydraulic conductivity and porosity and the estimation of the exploitable resources. The types of water sources most relevant to the region and the characteristics of the uses of its waters were identified. The sediments that make up the alluvial layer were classified as medium to coarse sand. The estimated conductivity presented a range of values between 10^{-5} and 10^{-4} m/s and the calculated effective porosity ranged from 21.98% to 46.26 in the samples. The estimated values for the exploitable water volume potential of the alluvial layer accredited it as the main source of supply of these communities. Water stored in cisterns is used almost exclusively in the noblest domestic activities, while water stored in the alluvium is used primarily in less noble domestic activities and in family farming and animal husbandry activities.

Keywords: Water resources demand. Water supply rural communities. Alluvium.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação da região semiárida do Nordeste brasileiro e do norte de Minas Gerais.....	15
Figura 2 - Vazão Específica por Unidade de Planejamento-UP. Região Nordeste do Brasil e norte do estado de Minas.....	18
Figura 3 - Bacias Sedimentares e de Embasamento Cristalino no Nordeste do Brasil e no norte do estado de Minas Gerais.....	19
Figura 4 - Cenários sequenciais de conservação e perda da água por evaporação no leito seco de rios intermitentes, devido à exploração de areias.....	25
Figura 5 - Ábaco de Breddin.....	29
Figura 6 - Área de estudo na sub-bacia do Alto Capibaribe.....	31
Figura 7 - Posição dos pontos de coleta de amostras.....	33
Figura 8 - Intervalos de classificação dos grãos.....	35
Figura 9 - Curvas granulométricas para as 6 amostras na área de estudo.....	45
Figura 10 - Curvas granulométricas plotadas nas classes de Breddin.....	48
Figura 11 - Superfície da camada aluvial.....	51
Figura 12 - Trechos da área de estudo do projeto Águas de Areias.....	54
Figura 13 - Distribuição do número de residentes por cadastro.....	55
Figura 14 - Distribuição das fontes de captação.....	56
Figura 15 - Distribuição das finalidades de uso das águas.....	57
Figura 16 - Distância entre a residência e o açude, barreiro ou barragem.....	59
Figura 17 - Usos das águas armazenadas na aluvião.....	60
Figura 18 - Distribuição das profundidades dos poços.....	61
Figura 19 - Resposta dos entrevistados sobre o atendimento da demanda de água pelas estruturas de captação da água armazenada na aluvião.....	61
Figura 20 - Capacidade de armazenamento em cisterna entre os cadastrados que a possuem.....	63
Figura 21 - Capacidade de armazenamento per capita em cisterna.....	63
Figura 22 - Distribuição da criação de animais.....	65
Figura 23 - Quantidade de bovinos criados nos cadastros.....	66
Figura 24 - Quantidade de caprinos criados nos cadastros.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes textura do solo.....	26
Tabela 2 - Coordenadas geográficas e profundidades amostradas.....	34
Tabela 3 - Pontos das amostras para análise granulométrica.....	44
Tabela 4 - Coeficiente de uniformidade e classificação das curvas granulométricas	46
Tabela 5 - Média gráfica das amostras da análise granulométrica.....	47
Tabela 6 - Valores para condutividade hidráulica a partir do método de Beerkan...	48
Tabela 7 - Valores condutividade hidráulica determinados pelo método de Breedin	49
Tabela 8 - Valores de porosidade efetiva.....	50
Tabela 9 - População animal por espécie.....	66
Tabela 10 - Consumos médios diários de água por espécie animal.....	68
Tabela 11 - Demanda diária de água total por espécie animal de acordo com o cadastro.....	69

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Problemática e justificativa	12
1.2	Objetivos geral e específicos	13
1.2.1	Objetivo geral	13
1.2.2	Objetivos específicos	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Água no semiárido	14
2.2	Disponibilidade hídrica nas aluviões	19
2.2.1	Caracterização dos depósitos aluviais	20
2.3	Abastecimento de comunidades rurais	21
2.3.1	Gestão dos recursos hídricos	21
2.3.2	Poços rasos	22
2.3.3	Reserva de água x exploração de areias	23
2.4	Comportamento do solo	25
2.4.1	Propriedades e parâmetros do solo	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	Área de estudo	31
3.2	Conhecimento do funcionamento do sistema de acumulação de águas	32
3.2.1	Análise granulométrica	33
3.2.2	Determinação da condutividade hidráulica	36
3.2.3	Determinação da porosidade efetiva	39
3.2.4	Estimativa do potencial explorável de água nas aluviões	40
3.3	Demanda e usos da água	41
3.4	Balanço hídrico expedido de reserva versus demanda	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Caracterização da camada aluvial	44
4.1.1	Análise granulométrica	44
4.1.2	Coeficiente de uniformidade	45
4.1.3	Média gráfica	46

4.1.4	Condutividade hidráulica	47
4.1.5	Porosidade efetiva	50
4.2	Estimativa do potencial explorável de água nas aluviões	51
4.2.1	Determinação da área da superfície da aluvião	51
4.2.2	Espessura da aluvião	52
4.2.3	Níveis inferior e superior exploráveis	52
4.2.4	Cálculo da reserva de água explorável	53
4.3	Cadastro de usuários	53
4.3.1	Dados gerais	55
4.3.2	Barragens, açudes e barreiros	58
4.3.3	Águas subterrâneas	59
4.3.4	Água de chuva	62
4.3.5	Irrigação	64
4.3.6	Criação animal	64
4.4	Balanço hídrico expedido de reserva versus demanda	67
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	70
5.1	Conclusões	70
5.2	Recomendações	71
	REFERÊNCIAS	72
	APÊNDICE A - Cadastro dos Mananciais e Usos da Água no	
	Alto Capibaribe	79

1 INTRODUÇÃO

1.1 Problemática e justificativa

A convivência com a escassez de água que assola a região do semiárido no Nordeste brasileiro é uma questão sempre discutida por gestores. As possibilidades de desenvolvimento regional estão diretamente ligadas à disponibilidade de água, e, por isso, hoje, muitas vezes, podadas.

Ao longo do tempo, diversas políticas públicas foram implantadas na perspectiva de mitigar o problema de baixa oferta de recursos hídricos para regiões do semiárido. De acordo com Cirilo (2008, p. 79), “a região apresenta, até a década de 1990, um histórico de políticas públicas equivocadas, quando não ausentes”. Mesmo com o aumento da quantidade e da qualidade das políticas públicas, a vulnerabilidade hídrica da região ainda é alta. Várias tecnologias já são empregadas na área visando melhorar as condições hídricas na região, inclusive por programas governamentais. Exemplos são cisternas, reservatórios, barragens, poços, etc.

Comunidades próximas à longa rede de rios e riachos intermitentes do Nordeste têm aproveitado as águas armazenadas na aluvião. Essa é uma reserva considerável para os períodos de estiagem e sofre menor impacto da elevada taxa de evaporação que incide sobre a região.

Essas águas normalmente são exploradas através de poços amazonas, também chamados de cacimbões, ou de simples escavações feitas na areia, também chamados de cacimbas. Algumas vezes são feitas barreiras, de lona plástica ou de alvenaria, chamadas de barragens subterrâneas. Essas barragens têm a função de impedir o fluxo horizontal, de montante para jusante, das águas armazenadas nos sedimentos.

As estratégias de uso das águas armazenadas em aluvião precisam ser melhor estudadas. Elas precisam ser sustentáveis para que não haja diminuição da quantidade ou da qualidade das águas armazenadas. Os instrumentos de captação das águas necessitam de aperfeiçoamento técnico. É necessário que se avance

com a governança para garantir a sustentabilidade hídrica no seu uso na região semiárida.

Neste trabalho será contextualizada a oferta de água no semiárido, a caracterização e o uso das aluviões e o abastecimento de comunidades rurais difusas. Em seguida será desenvolvido um estudo sobre as potencialidades hídricas de uma aluvião em rio intermitente no semiárido do estado de Pernambuco, das demandas e dos usos de água da comunidade local e da otimização do uso dos recursos hídricos das aluviões nesse cenário.

1.2 Objetivos geral e específicos

1.2.1 Objetivo geral

Conhecer o funcionamento do sistema de acumulação de águas nas aluviões e determinar as características de uso e demanda de água da população local.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a camada aluvial;
- Estimar o potencial explorável de água na aluvião;
- Identificar os tipos de mananciais hídricos mais relevantes para a região;
- Identificar as características de uso e finalidade de água da população local;
- Obter o balanço hídrico expedido de reserva versus demanda.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Água no semiárido

O Nordeste tem área correspondente a 18,2% do território nacional. A maior parte dessa área é de região semiárida. Regiões com baixos índices de precipitação média anual - inferiores a 800 mm por ano -, com índices de aridez e que apresentam déficit hídrico (BRASIL, 2005; MOURA *et al.*, 2007; CIRILO, MONTENEGRO & CAMPOS, 2010). Abrangendo parte dos estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais, o semiárido ocupa uma área de 976.743,3 km², compreendendo 1.132 municípios e uma população de 20 milhões de habitantes, 12,2% da população brasileira (BRASIL, 2006). A Figura 1 mostra no mapa do Brasil a região semiárida se estendendo desde o norte do estado de Minas Gerais até o litoral do estado do Ceará.

A indisponibilidade de água com qualidade e quantidade necessárias continua a ser um fator inibidor do desenvolvimento da região. Os esforços para garantir o abastecimento hídrico de pessoas e animais e viabilizar a irrigação ainda não são, de forma global, suficientes para superar esse entrave. Parte considerável da população do Nordeste ainda continua vulnerável quando da ocorrência de secas.

A vulnerabilidade se agrava em se tratando da população difusa do meio rural, onde é difícil a existência de rede de distribuição de água por tubulações. A inexistência de água disponível suficiente em grande parte do território limita as perspectivas de maior desenvolvimento na região. Principalmente no que concerne ao pequeno produtor rural, que não tem água suficiente para irrigação e/ou para a criação de animais e, por vezes, a água é insuficiente até para o abastecimento humano.

Figura 1 - Representação da região semiárida do Nordeste brasileiro e do norte de Minas Gerais.



Fonte: O Autor (2008)

Nota: Adaptado de Brasil (2006).

Os valores médios de precipitação anual decaem bastante à medida que vai se distanciando do litoral e vai se adentrando na zona do Agreste e do Sertão. Nestas zonas a precipitação média anual chega a valores inferiores a 500 mm por ano. Ainda há uma grande variabilidade interanual, havendo por vezes uma acentuada diminuição do total pluviométrico sazonal durante o período chuvoso, configurando o chamado evento de “seca”.

Além dos valores médios baixos, a pluviometria é bastante irregular no tempo. Nessa região, quase toda a chuva ocorre concentrada em quatro meses do ano. Mesmo em anos que o total de chuvas é próximo, ou até um pouco superior, a média, podem ocorrer períodos de estiagem bastante prolongados, prejudicando e até inviabilizando as atividades agrícolas. Os episódios de estiagem se intercalam com chuvas mais intensas. Sob este aspecto, há que se considerar a variabilidade

temporal em escala intra-sazonal das chuvas, e não apenas os totais sazonais, na caracterização qualitativa da estação chuvosa (MOURA *et al.*, 2007).

A evapotranspiração potencial no interior dos estados da Bahia e de Pernambuco chega a valores na faixa entre 2.000 e 3.000 mm/ano, com insolação média de 2800 h/ano, temperaturas anuais médias de 23 a 27°C e umidade relativa do ar em torno de 50% (MOURA *et al.*, 2007). A evaporação tem valores mais elevados entre os meses de outubro e dezembro e menores valores entre abril e junho. Os altos índices de evaporação provocam perdas significativas de água, tanto no aspecto quantitativo, quanto qualitativo, agravando ainda mais o quadro de escassez.

A baixa e irregular pluviometria aliada a valores altíssimos de evapotranspiração coloca o Nordeste semiárido em condição de elevado déficit hídrico. No interior dos estados da Bahia, do Ceará, da Paraíba e de Pernambuco a disponibilidade per capita atinge valores inferiores a 1.000 m³/hab/ano, o que é bastante inferior aos 1500 m³/hab/ano, considerado pela Organização das Nações Unidas como a quantidade potencial de água mínima para o bem-estar e o desenvolvimento (CIRILO, 2008).

Há poucos rios perenes no Nordeste, onde se pode destacar os rios São Francisco - que nasce em Minas Gerais e banha os estados nordestinos da Bahia, Pernambuco, Alagoas e Sergipe - e Parnaíba - que divide os estados do Maranhão e Piauí. De acordo com Cirilo, Montenegro & Campos (2010, p. 83):

Essa situação pode ser explicada em função da variabilidade temporal das precipitações e das características geológicas dominantes, onde há predominância de solos rasos baseados sobre rochas cristalinas e, conseqüentemente, baixas trocas de água entre o rio e o solo adjacente.

Assim, quase toda a rede de escoamento de água dos rios é pobre, formada por rios efêmeros ou intermitentes.

De acordo com pleno de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017 (ANA, 2017), entre 2003 e 2016 as secas e estiagens levaram 1.409 municípios nordestinos (78,5% da região) a declarar Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública. Em 2016, ano mais crítico em impactos para a população,

mais de 15 milhões de habitantes do Nordeste foram afetados por fenômenos climáticos que causam escassez hídrica.

A Figura 2 mostra os valores da disponibilidade hídrica de superfície da região dividida em 310 sub-bacias, denominadas de Unidades de Planejamento (UPs). Em 74% do território da área as vazões específicas são inferiores a 10 L/s/km², sendo que em 21% das UPs ocorrem vazões específicas muito baixas, inferiores a 1 L/s/km² (BRASIL, 2006).

A Agência Nacional de Águas, ANA, definiu áreas que merecem atenção especial em função do maior risco de escassez hídrica. Essas porções do território são chamadas de Áreas de Elevado Risco Hídrico, AERHs, e são caracterizadas pelas quatro seguintes variáveis (BRASIL, 2006):

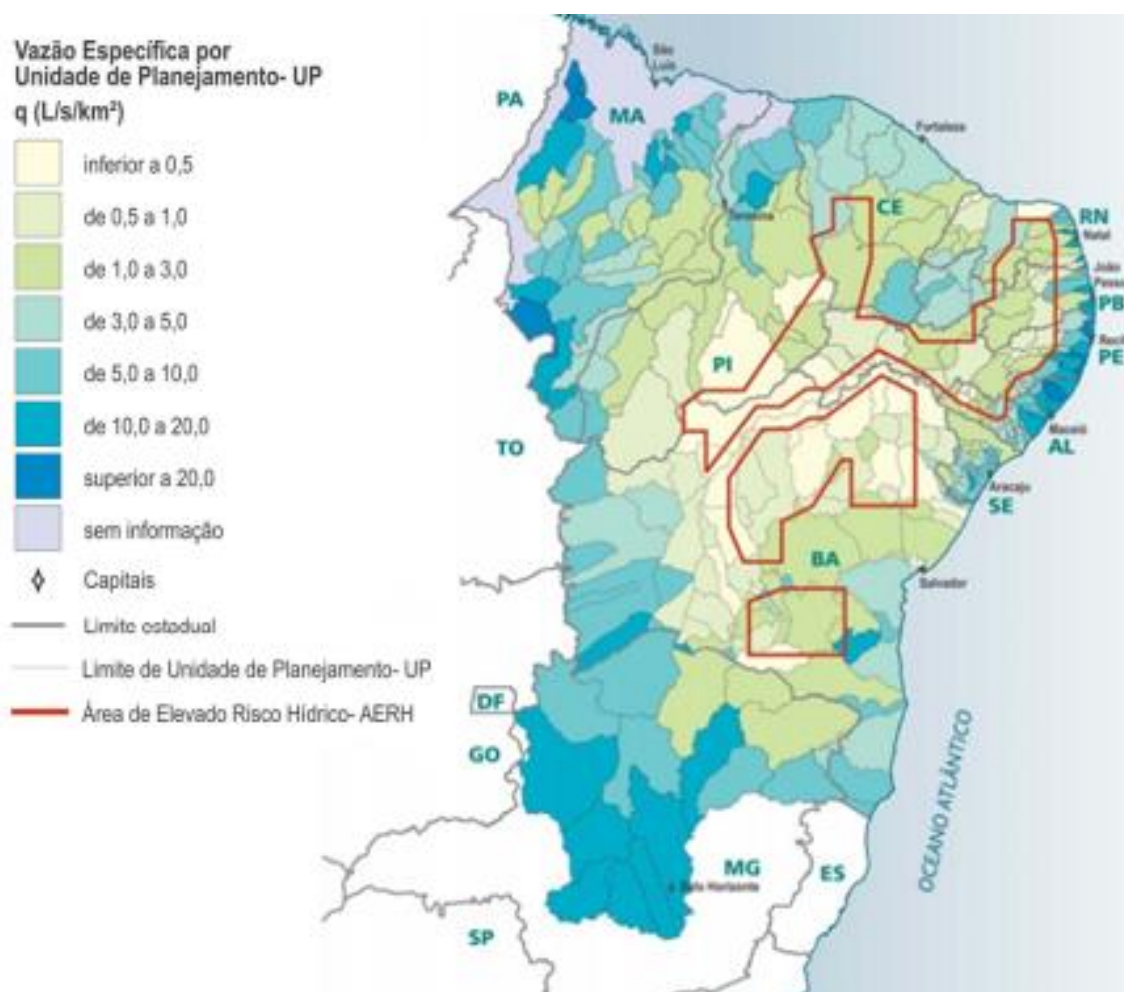
- precipitação média inferior a 700 mm, delimitando regiões com baixa precipitação relativa;
- índice de aridez inferior a 0,35 (valor da faixa de classificação da região semiárida), indicando as regiões mais críticas no balanço precipitação-evapotranspiração;
- ausência de sistemas aquíferos sedimentares, que representariam potencial fonte de suprimento e de segurança hídrica para o abastecimento humano;
- ausência de rios perenes com elevado porte ou com grande capilaridade, que também significariam fator de segurança hídrica.

As AERHs estão apontadas na Figura 2. Elas possuem extensão total de 321.711 km², o equivalente a 25% do território nordestino (BRASIL, 2006; CIRILO, MONTENEGRO e CAMPOS, 2010).

Aproximadamente 80% do território nordestino é de embasamento cristalino (CIRILO, 2008). Principalmente a área da região semiárida (Figura 3). As águas dos aquíferos em zonas fraturadas do cristalino apresentam problemas de salinização e poços de baixa vazão, da ordem de até 1 m³/h. De acordo com Demetrio, Feitosa & Saraiva (2007), aquíferos são formações geológicas que têm a capacidade de armazenar e ceder água em quantidades que sejam economicamente viáveis de serem aproveitadas pelo homem.

Os aquíferos em rochas sedimentares apresentam, em geral, maiores vazões potenciais de captação e melhor qualidade das águas. As reservas de água doce subterrânea nessas bacias no Nordeste permitem uma captação em torno de 20 milhões de m³/ano, um valor bastante expressivo. Entretanto, essas reservas apresentam algumas peculiaridades, a destacar: a alta concentração espacial, há poucas manchas espaçadas no semiárido, como evidenciado na Figura 3; em muitos lençóis a profundidade encarece o custo de implantação e operacionalização dos poços; e ainda há várias incertezas quanto aos mecanismos de recarga destes aquíferos, uma exploração intensa pode coloca-los em risco (REBOUÇAS, 1997).

Figura 2 - Vazão Específica por Unidade de Planejamento-UP. Região Nordeste do Brasil e norte do estado de Minas.



Fonte: O Autor (2008)

Nota: Adaptado de Brasil (2006).

Figura 3 - Bacias Sedimentares e de Embasamento Cristalino no Nordeste do Brasil e no norte do estado de Minas Gerais.



Fonte: Brasil (2006).

2.2 Disponibilidade hídrica nas aluviões

As chuvas, em geral, de curta duração e elevada intensidade, somadas à baixa capacidade de infiltração do solo, fazem com que boa parte da precipitação na região semiárida seja perdida por escoamento superficial (CIRILO, MONTENEGRO & CAMPOS, 2010).

A política de acumulação de água também apresenta problemas. Os altos valores de evapotranspiração potencial limitam bastante atividades como a pequena açudagem. Boa parte da água é perdida por evaporação antes de ser utilizada e o volume armazenado no manancial não resiste aos efeitos da seca prolongada (CIRILO *et al.*, 2003; MOURA *et al.*, 2007).

No quadro em que os rios apresentam regime temporário, de altos índices de evaporação da água superficial acumulada e de escassos recursos hídricos superficiais em geral, os recursos hídricos subterrâneos vêm sendo mais utilizados

para a dessedentação da pequena criação animal e para a agricultura familiar irrigada. Esse aproveitamento ganha importância ainda maior em cenários onde são escassos ou estão totalmente esgotados os recursos hídricos superficiais (ALMEIDA *et al.*, 2004).

Com a extensa rede de rios intermitentes e efêmeros, o uso das águas armazenadas na aluvião desses rios ganha destaque. Montenegro *et al.* (2004, p. 2) afirma que:

As manchas aluvionares presentes no Nordeste brasileiro, por constituírem fontes renováveis de recursos hídricos, particularmente em zonas de domínio do cristalino, devem ser consideradas como áreas prioritárias para o desenvolvimento agrícola de pequena escala.

A aluvião são os sedimentos que se acumularam ao longo dos anos, fruto do arraste gerados pelo escoamento superficial em direção ao leito do rio em épocas de chuva. Esses sedimentos são oriundos dos processos erosivos nos solos, rasos, do Agreste e do Sertão.

A água de chuva armazenada em depósito aluvial tem maior proteção à evaporação, e, conseqüentemente à salinização provocada pela evaporação, do que as águas de açudes e barreiros (COSTA *et al.*, 2000 *apud* CIRILO, MONTENEGRO & CAMPOS, 2010). No uso da água dos vales aluviais é preciso cuidado, métodos de irrigação incorretos, por exemplo, podem comprometer a qualidade da água desses mananciais. De acordo com Montenegro & Montenegro (2006, p. 31), “essas zonas são susceptíveis a processos de acúmulo de sais, tanto na zona não-saturada quanto na saturada, a depender, dentre outros fatores, da distribuição espacial de suas características hidráulicas”.

2.2.1 Caracterização dos depósitos aluviais

Para o correto aproveitamento das potencialidades de um depósito aluvial, é necessário primeiro conhecer as características deste. De acordo com Costa (1984), inicialmente deve-se definir se o reservatório aluvial oferece disponibilidade para exploração. Depois deve ser verificada qual a melhor alternativa para captação e, por fim, se existe necessidade de alguma melhoria no depósito aluvial para potencializar as condições de exploração.

No dimensionamento do reservatório aluvial é preciso verificar as condições de exploração das aluviões. Estas condições estão diretamente ligadas com a espessura, largura e comprimento da camada aluvial. Estes valores apresentam grande variação de lugar para lugar (COSTA, 1984).

A acumulação dos depósitos está relacionada à capacidade de carga do rio, que depende de um conjunto de outros fatores, como o volume de água, o relevo da região e o tipo de intemperismo dominante. O dimensionamento do depósito aluvião é feito a partir da delimitação de sua área superficial e da sua espessura, esta por sondagens.

2.3 Abastecimento de comunidades rurais

2.3.1 Gestão dos recursos hídricos

Em um cenário onde há poucos recursos, o papel da gestão para que a oferta de água em qualidade e quantidades necessárias atenda a demanda se torna ainda mais importante.

Além da equalização entre a água que se tem e a água que se precisa, é necessária uma política sustentável para os recursos hídricos e para o que mais se relaciona com a bacia hidrográfica. Cirilo (2008) afirma que o processo de uso dos recursos naturais precisa ocorrer de maneira que se preserve a capacidade produtiva desses recursos.

Na gestão da bacia hidrográfica é importante entender que o que acontece em uma área reflete nas demais. É preciso que haja uma gestão integrada da bacia, que garanta o equilíbrio deste organismo e, assim, o bom desempenho do sistema (BRAGA *et al.*, 2015).

A gestão adequada dos recursos hídricos, aliada ao fortalecimento e a ampliação da infraestrutura hídrica, é requisito fundamental na solução do problema de acesso a água (CIRILO, 2008).

Os esforços para mitigar o impacto da escassez hídrica e melhorar as condições de acesso a água, apesar de válidos, ainda não conseguiram de maneira

global superar os problemas da falta de recursos hídricos no semiárido (CIRILO, 2008). Deve-se buscar o aumento da disponibilidade a partir do aumento da eficiência e controle da demanda e do desperdício, principalmente na irrigação (CIRILO, MONTENEGRO & CAMPOS, 2010).

Outras regiões semiáridas pelo mundo, como é o caso de Israel que dispõe de apenas 370 m³/hab/ano, já conseguem melhores condições hídricas de desenvolvimento que o semiárido do Brasil (REBOUÇAS, 1997). Essas regiões devem ser observadas para que possa ter exemplos a serem seguidos, enxergando sempre, também, as diferenças fisioclimáticas em relação ao Nordeste brasileiro (CIRILO, 2008).

Se nos núcleos urbanos os problemas de escassez hídrica ainda não estão superados, na área rural a solução ainda parece mais distante. Cirilo (2008) diz que quando se trata do uso difuso da água no meio rural a vulnerabilidade à ocorrência de secas é ainda maior. Das 20 milhões de pessoas que habitam o semiárido, 44% corresponde à população rural (BRASIL, 2006).

Parte das comunidades do semiárido brasileiro, que sempre tiveram suas vidas moldadas pelas fortes secas que flagelam a região, procurou se adaptar as condições de escassez de água migrando, quando possível, para próximo de rios, reservatórios e fontes subterrâneas (CIRILO, MONTENEGRO & CAMPOS, 2010; PAIVA *et al.*, 2014).

O atendimento à demanda dessa população, que garanta a superação dos obstáculos ao desenvolvimento, não se dará por soluções únicas. É preciso uma rede de infraestruturas hidráulicas combinadas, ainda que em pontos isolados, para enfrentar o problema da pouca oferta de água no semiárido (CIRILO, MONTENEGRO & CAMPOS, 2010).

2.3.2 Poços rasos

Na superação dos problemas, a eficiência das soluções está atrelada a sua adequação à realidade. A população rural difusa não será abastecida por grandes canais e adutoras, exceto aquelas próximas ao traçado dessas obras (CIRILO, 2008).

A política de construção de cisternas precisa ser continuada. Mas é importante entender que as cisternas sozinhas não têm condições de atender à demanda de água durante todo o período de estiagem, não garantindo, sozinha, a sustentabilidade às populações (CIRILO, MONTENEGRO & CAMPOS, 2010). A cisterna de ser encarada como parte da solução do suprimento das populações difusas, aliando-se a outros mananciais.

Paralelo a outras alternativas, deve ser observado, sempre que as condições locais forem propícias, a construção de poços. De acordo com a ANA (2002) poço é um nome genérico dado a qualquer perfuração através da qual obtemos água de um aquífero e pode ser classificado quanto a sua profundidade em Poços Rasos, até 30 metros de profundidade, e Poços Profundos, com profundidades de até 1.000 metros. A nomenclatura usada nos poços rasos varia dependendo da região, sendo usados termos como cacimba, cacimbão, poço amazonas (SANTOS et al., 2008).

Os poços amazonas, também conhecidos como “cacimbões”, possuem paredes de revestimentos, normalmente de concreto ou alvenaria. Esses são poços de grande diâmetro - geralmente, maior que 1 m - e de pouca profundidade, normalmente inferiores a 30 m. Os poços amazonas possuem características construtivas - como diâmetro, profundidade e material constituintes das paredes – bem variadas (ALBUQUERQUE & RÊGO, 1990; CAETANO, 2015; PAIVA *et al.*, 2014; PAIVA *et al.*, 2015; SANTOS, NUNES & FIGUEIREDO, 2008).

Os poços que não possuem paredes de revestimento, ficando simplesmente a escavação na camada aluvial, são chamados de Cacimbas (PAIVA *et al.*, 2014). A EMBRAPA (2006) descreve a cacimba como uma escavação rasa feita no leito principal de rios e riachos temporários, também conhecida como “Olho D’Água”. Por não haver revestimento protegendo a escavação, a tendência é que na época chuvosa esses poços sejam aterrados pelos sedimentos carregados nas cheias.

2.3.3 Reserva de água x exploração de areias

O crescimento das obras de construção civil evidenciado no interior do Nordeste nos últimos anos teve gerado um aumento da demanda por insumos para

execução dessas obras. O aumento do consumo de areia na construção civil fez com que a extração desse insumo fosse ampliada e mecanizada. A areia depositada no leito seco dos rios e riachos temporários constituiu-se como uma jazida para exploração para comercialização.

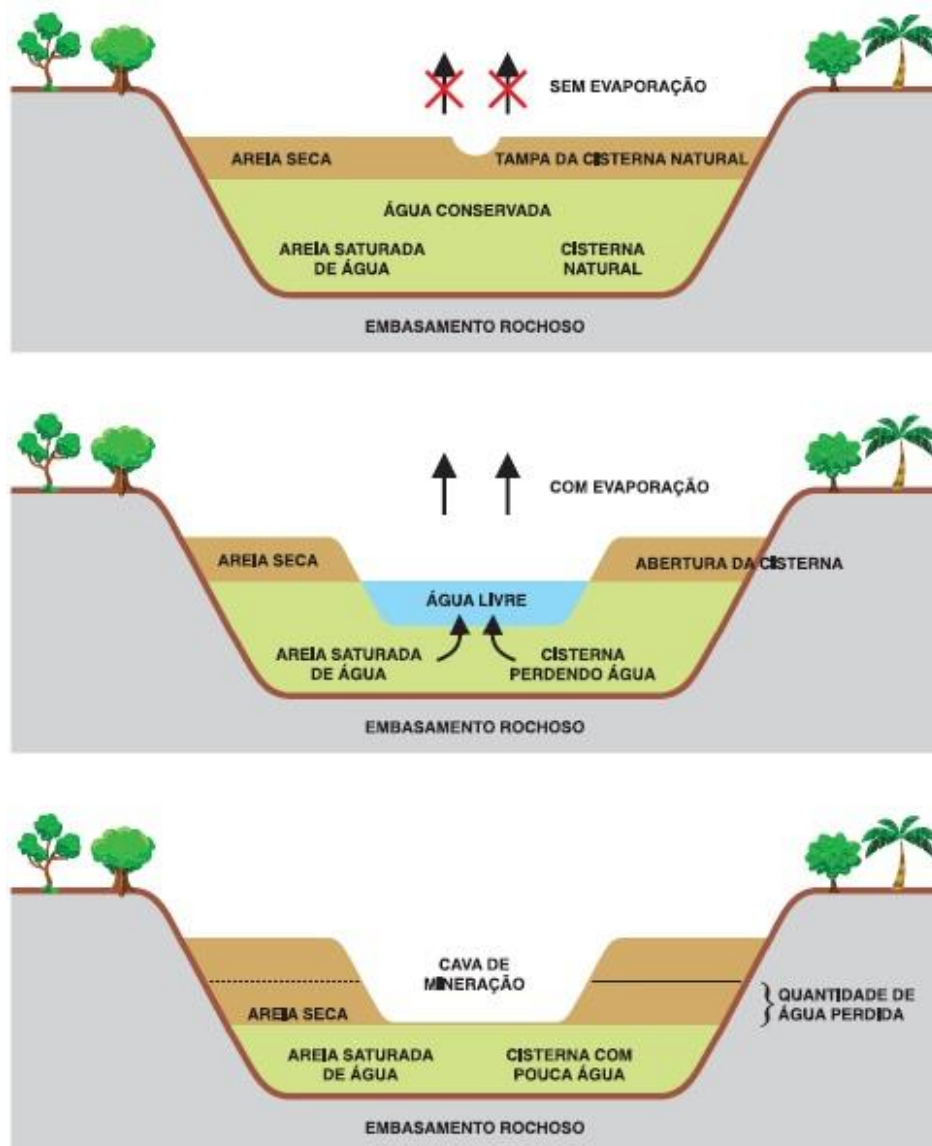
Ao mesmo tempo, a demanda pela água armazenada nas aluviões também aumentou. Esse aumento é resultado dos períodos de fortes secas e do aumento da população. Em momento de estiagem prolongada a água captada nas aluviões abastece inclusive zonas urbanas no semiárido nordestino (CAETANO, 2015).

Os fatores descritos nos dois parágrafos anteriores têm gerado um conflito crescente, de caráter socioambiental, no leito seco de rios intermitentes do semiárido, entre formas opostas de exploração das camadas aluviais. De um lado a extração de areia para uso na construção civil e de outro a areia como zona de armazenamento de água para uso em períodos de maior escassez (BRAGA *et al.*, 2014).

A areia depositada no leito do rio foi carregada ao longo de séculos por enxurradas (CABRAL *et al.*, 2016). A água que chega ao leito do rio a partir do escoamento superficial gerado pela chuva se infiltra nessa camada de sedimentos e ali fica, a partir de uma determinada profundidade, protegida da evaporação (ARAÚJO FILHO, 2016).

A retirada indiscriminada de areia, bem maior do que a capacidade de recuperação natural da camada de sedimentos, expõe a água intensa evaporação potencial da região. A água então evapora rapidamente, e a pequena quantidade que ainda venha a permanecer tende a ficar salinizada e coberta por algas, impróprias para uso. A Figura 4 ilustra, de maneira simplificada, esse processo. As águas oriundas de futuras cheias na área onde a areia foi retirada não terão onde se infiltrar, agravando ainda mais a situação de escassez hídrica da população (BRAGA *et al.*, 2014).

Figura 4 - Cenários sequenciais de conservação e perda da água por evaporação no leito seco de rios intermitentes, devido à exploração de areias.



Fonte: Braga *et al.* (2015).

2.4 Comportamento do solo

O solo, material formado por processos químicos, físicos e biológicos de desintegração das rochas, é composto por três fases: sólida, líquida e gasosa. As partes sólidas são especificamente as partículas minerais e orgânicas. A fase líquida é a chamada “água do solo” ou “solução do solo”, é dividida em Gravitacional – pode ser perdida pelo efeito da força da gravidade -, Capilar – mesmo sobre

atuação da força da gravidade, tende a ficar retida nos poros capilares – e Higroscópica – em forma não líquida, retida principalmente pelos coloides do solo. A fase gasosa é o ar presente no solo.

O estudo do comportamento físico do solo, com o objetivo de entender os mecanismos que o governam é feito através da análise das suas propriedades físicas, bem como sua medição, predição e controle (REINERT & REICHERT, 2006).

2.4.1 Propriedades e parâmetros do solo

a) Textura

A textura, ou a composição granulométrica do solo, caracteriza a distribuição das partículas do solo quanto às suas dimensões (GOMES, 1999). A caracterização é definida pela proporção relativa das classes de tamanho das partículas de um solo, sendo as partículas classificadas de acordo com seu diâmetro (REINERT & REICHERT, 2006).

A Sociedade Brasileira de Ciência dos Solos, baseando pela classificação do *United States Department of Agriculture (USDA)*, define quatro classes de tamanho de partículas menores que 2 mm (Tabela 1) (CAVALCANTI, 2012; MELO, 2011):

Tabela 1 - Classes de textura do solo.

Fração do solo	Diâmetro da partícula (mm)
Areia grossa	2 a 0,2
Areia fina	0,2 a 0,05
Silte	0,05 a 0,002
Argila	< 0,002

Fonte: O Autor (2018).

Nesta classificação é desconsiderada a presença de matéria orgânica e de partículas maiores do que 2 mm, assim o total de partículas de um solo é igual ao somatório da proporção de argila, silte e areia (grossa e fina), de maneira que o

solo pode ter de 0 a 100% de presença de cada uma dessas parcelas (REINERT & REICHERT, 2006).

A análise granulométrica pode ser feita diretamente em campo ou em laboratório. No campo a análise é feita de maneira estimativa, baseando-se na sensação ao tato quando do manuseio de uma amostra de solo. A areia manifesta sensação de aspereza, o silte de maciez e a argila de maciez e plasticidade, e pegajosidade se molhada. Na análise laboratorial a amostra é dispersa em suspensão para se determinar a proporção de areia (por peneiramento) e de argila (por sedimentação). A parcela de silte é então a parcela restante da totalidade do solo (REINERT & REICHERT, 2006).

b) Porosidade

A forma como se dá o arranjo das partículas sólidas em estruturas é o que vai interferir diretamente na porosidade do solo, espaços livres que são ocupados pela parte líquida e gasosa.

Esses espaços ocupados são os poros, que podem ser divididos em macroporos e microporos. Os macroporos, com diâmetros superiores a 0,1 mm, perdem água com mais facilidade pela ação da gravidade de que os microporos, que com diâmetros menos que 0,05 mm (VANZELA & ANDRADE, 2014). Nos solos arenosos há predominância de macroporos, já nos solos argilosos tendem a predominar os microporos.

A porosidade pode ser definida como (Equação 01) a relação entre volume poroso e volume total do solo:

$$\emptyset = \frac{V_p}{V_t} \quad (01)$$

onde: $\emptyset$ é a porosidade, V_p é o volume poroso e V_t é o volume total.

Sendo, V_t a soma do volume (Equação 02) das partículas sólidas (V_s) e do volume poroso (V_p):

$$V_t = V_s + V_p \quad (02)$$

A depender da interconexão entre os poros, existem dois tipos de porosidade: a porosidade total (ou absoluta) e a porosidade efetiva (NÚÑEZ, 2007). Sendo a porosidade efetiva uma parcela da porosidade total.

A porosidade total considera o volume de todos os poros, independente de estarem interconectados ou não. A porosidade efetiva considera o volume dos poros interconectados. O volume dos poros interconectados ou o volume poroso efetivo ($V_{p,e}$) pode ser obtido (Equação 03) em laboratório a partir da diferença de peso entre a massa seca (m_{seca}) e saturada (m_s) por um fluido, dividida pela massa específica do fluido (ρ_{fluido}).

$$V_{p,e} = \frac{m_s - m_{seca}}{\rho_{fluido}} \quad (03)$$

c) Condutividade hidráulica

A condutividade pode ser entendida como a rapidez com que o solo conduz água, mais especificamente é altura da coluna de água que atravessa um solo saturada numa determinada unidade de tempo, sob um gradiente hidráulico (VASCONCELOS, 2015).

Modelo BEST

Empregado na determinação da condutividade hidráulica e da porosidade, o modelo BEST (*Beerkan Estimation of Soil Transfer Parameters through Infiltration Experiments*) foi desenvolvido por Lassabatère *et al.* (2006). Também conhecido como método Beerkan, o modelo é usado na representação matemática do fenômeno da infiltração (VASCONCELOS, 2015).

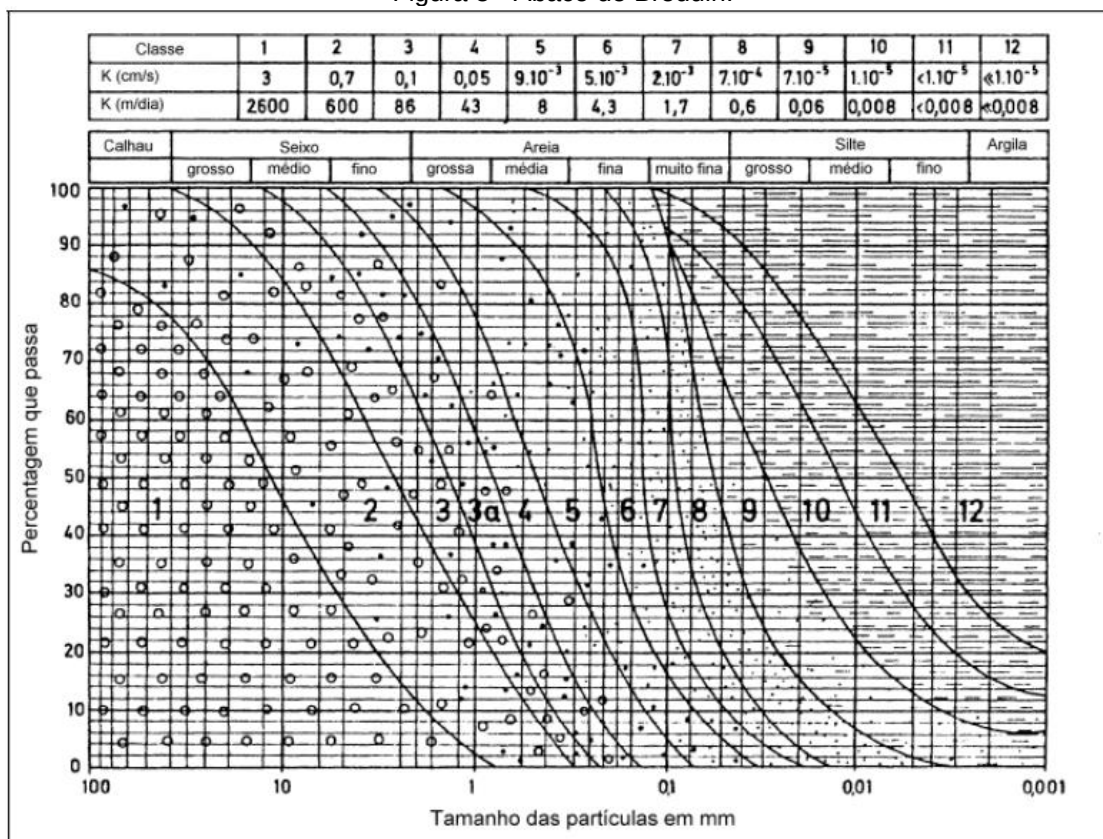
O modelo utiliza-se de dois parâmetros de forma, m e n , obtidos a partir da curva de distribuição dos tamanhos das partículas e da porosidade, relacionados diretamente com a textura e de três parâmetros de normalização, θ_s , K_s e h_g , obtidos a partir de experimentos de infiltração (SOUZA *et al.*, 2008) para estimar os parâmetros da curva de retenção de água e da curva de condutividade hidráulica (VASCONCELOS, 2015).

Método de Breddin

O método de Breddin (1963 *apud* CUSTODIO & LLAMAS, 1976) estima os valores para condutividade hidráulica a partir da representação gráfica da composição dos sedimentos, levando em consideração que a permeabilidade vai depender da variação do tamanho do grão e da composição (SIMÕES, 2010).

A classificação é constituída por 12 classes, chamadas de curvas de Breddin ou ábaco de Breddin (Figura 5). Um valor médio para a condutividade hidráulica é associado a cada classe. O gráfico foi inicialmente proposto para a área de Nordrhein-Westfalen, Alemanha, mas vem sendo usado na estimativa da condutividade hidráulica em vários outros lugares.

Figura 5 - Ábaco de Breddin.



Fonte: Custódio & Llamas, (1976).

O método foi usado frequentemente da região de Barcelona, na Espanha (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976). Também foi seguida a metodologia de Breddin na caracterização do funcionamento hidráulico do aquífero de Yumbel, na bacia do Rio

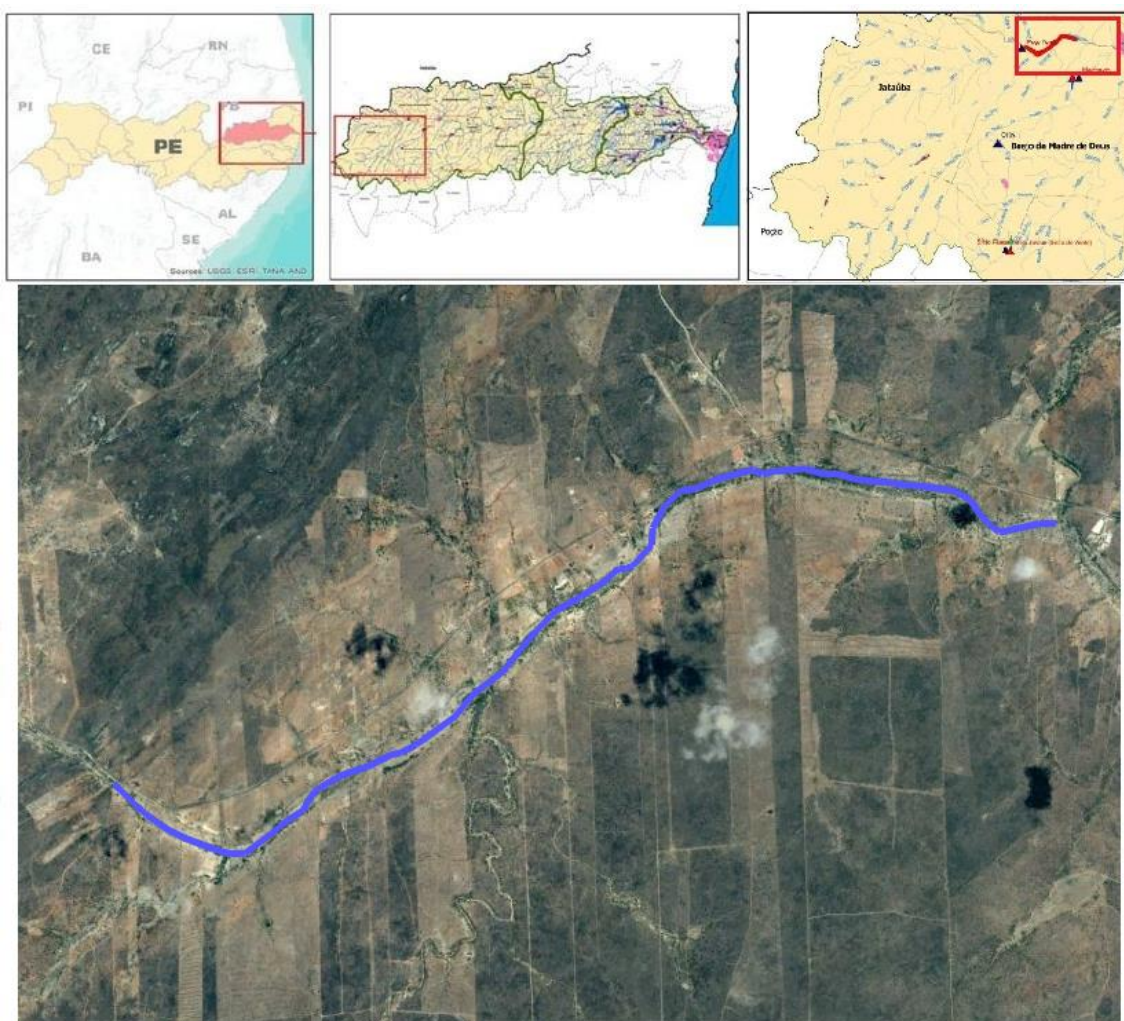
Claro, região de Biobío no Chile (GONZÁLEZ *et al.*, 1999). Simões (2010), estimou a condutividade hidráulica do aquífero plio-quadernário da bacia do baixo Tejo, em Belverde, Portugal, pela metodologia proposta por Breddin. Brandt (2010) utilizou o método de Breddin no mapeamento da condutividade hidráulica da cobertura do aquífero Guarani situada na bacia hidrográfica dos rios Jacaré-Guaçú e Jacaré-Pepira, São Paulo. Rodrigues (2012) determinou a condutividade hidráulica pelo método de Breddin na caracterização hidrogeológica de depósito aluvial no município de Afogados da Ingazeira-PE.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O projeto de pesquisa foi desenvolvido em um trecho do rio Capibaribe, onde o mesmo faz a divisa entre os municípios de Brejo da Madre de Deus e Santa Cruz do Capibaribe. A área de estudo tem extensão de aproximadamente 8,3 km, sendo definida, de montante para jusante, entre as coordenadas de 7°57'50" S e 36°20'01" O - altitude de aproximadamente 455 metros - até o ponto de coordenadas 7°56'48" S e 36°16'16" O - altitude de aproximadamente 445 metros -, área já próxima à zona urbana de Santa Cruz do Capibaribe (Figura 6).

Figura 6 - Área de estudo na sub-bacia do Alto Capibaribe.



Fonte: O Autor (2018).

O rio Capibaribe tem uma ampla área de abrangência do Agreste, passando pela Zona da Mata, até o Litoral pernambucano. Desde a nascente, no sítio Araçá, município de Poção, até a foz, no Recife, o rio corta 42 municípios. A área da bacia é de 7.454,88 km² (72% do território de Pernambuco) (PERNAMBUCO, 2010).

Esse trecho do rio trata-se de região totalmente compreendido dentro da macrozona identificada como Alto Capibaribe. Região que apresenta déficit hídrico e o rio é efêmero. O Alto Capibaribe tem características rochosas cristalinas e relevos superiores a 400 metros. A precipitação pluviométrica é próxima de 600 mm/ano e o potencial de evapotranspiração chega a valores em torno de 2000 mm/ano (BRAGA *et al.*, 2015; PERNAMBUCO, 2010).

Na área, as águas armazenadas na aluvião são usadas para a pequena irrigação e criação de animais e para abastecimento doméstico das comunidades rurais ribeirinhas. Em momentos de seca prolongada, como o que a região passa no momento da realização desta pesquisa, as águas extraídas da aluvião também abastecem, através de carros pipas, áreas urbanas na cidade de Santa Cruz do Capibaribe, no distrito de Poço Fundo e no distrito de São do Domingos do Brejo da Madre de Deus (CAETANO, 2015; PAIVA *et al.*, 2014)

Na região houve em alguns pontos retirada de areais das camadas aluviais para comercialização e uso na construção civil. O processo gerou, e ainda gera, conflitos entre os que utilizam da água das aluviões e os que desejam a extração das areias (BRAGA *et al.*, 2014; BRAGA *et al.*, 2015).

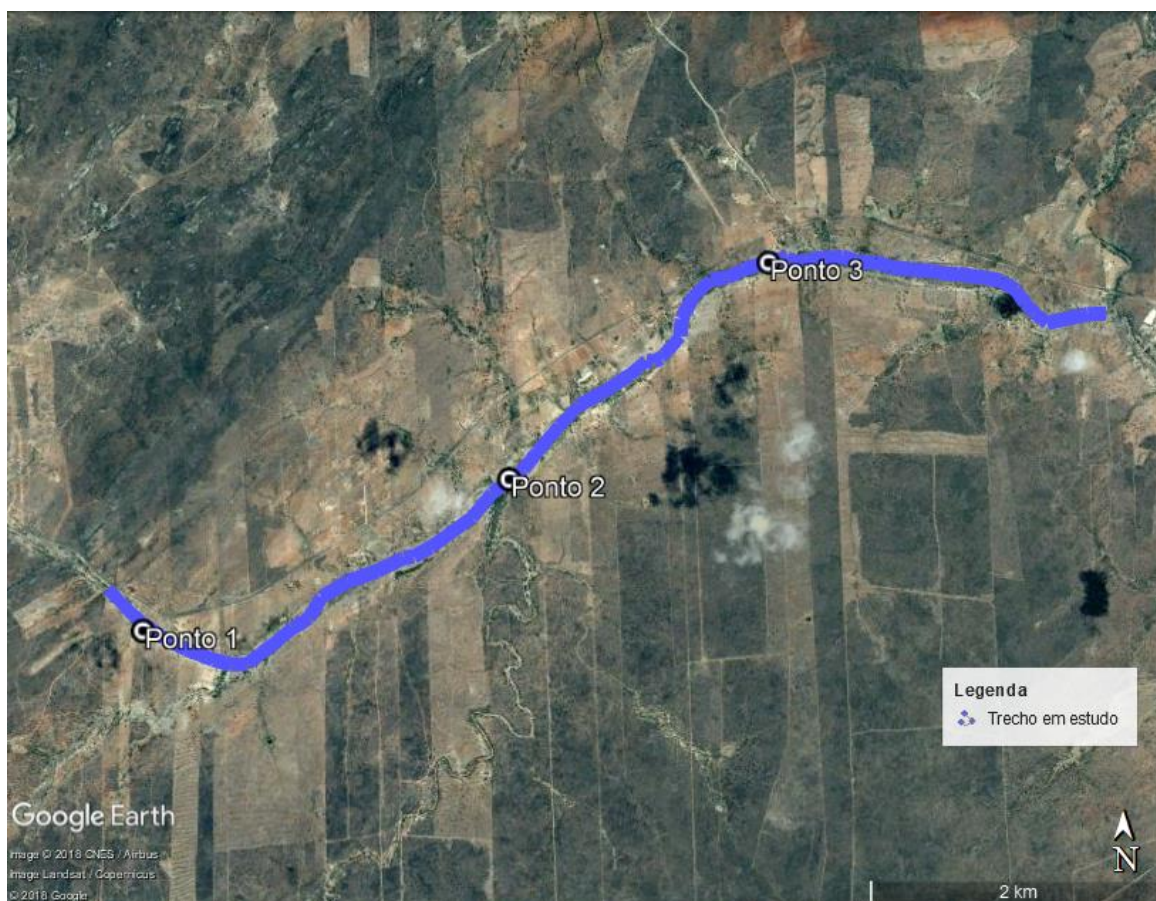
3.2 Conhecimento do funcionamento do sistema de acumulação de águas

O conhecimento do funcionamento do sistema de acumulação de água da aluvião foi obtido fundamentalmente a partir da determinação da análise granulométrica da camada aluvial, da estimativa das condutividades hidráulicas e da porosidade e da estimativa do potencial explorável de água nas aluviões.

3.2.1 Análise granulométrica

Para a análise granulométrica da área de estudo foram definidos três pontos. Os pontos foram escolhidos espaçadamente, de modo que, de montante para a jusante, tendo informações no início do trecho estudado, outro próximo a metade do trecho e outro próximo ao final. Em cada ponto, foram coletadas amostras em diferentes profundidades, aproveitando-se das condições de relevo e de escavações para amostrar a aluvião em diferentes níveis. A identificação dos pontos e as suas localizações estão mostradas na Figura 7. As coordenadas geográficas e as profundidades das amostras em cada ponto estão na Tabela 2.

Figura 7 - Posição dos pontos de coleta de amostras.



Fonte: O Autor (2018).

Tabela 2 - Coordenadas geográficas e profundidades amostradas.

Ponto	Coordenadas Geográficas		Profundidades Amostradas
	Latitude	Longitude	
P1	7°57'59.48"S	36°19'52.70"O	Superfície
			0,30 m
			0,60 m
P2	7°57'25.80"S	36°18'30.78"O	0,70 m
			3,00 m
P3	7°56'36.79"S	36°17'31.82"O	3,80 m

Fonte: O Autor (2018).

Os ensaios para a caracterização granulométrica das amostras foram realizados no laboratório de Física do Solo do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE.

Os ensaios foram efetuados de acordo com as Normas NBR-6457 (ABNT, 1986) - Amostras de Solo – Preparação Para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização (1986) e NBR-7181 (ABNT, 1984) - Solo – Análise Granulométrica (ABNT, 1984).

No procedimento, os diâmetros das partículas mais grosseiras (areias) são determinados por peneiramento e das partículas finas (argilas) por sedimentação.

O peneiramento é dividido em duas partes. Primeiro, efetua-se o peneiramento grosso (partículas maiores que 2,00 mm). Depois, efetua-se o peneiramento fino (partículas entre 2,0 mm e 0,075 mm).

Em seguida, faz-se o ensaio por sedimentação da fração inferior a 0,075 mm. O ensaio é baseado na lei de Stokes, onde a velocidade (v) [L] de queda das partículas esféricas em um fluido atinge um valor limite que depende do peso específico do material constituinte (γ_s) [M/L³], do peso específico do fluido (γ_w) [M/L³], da viscosidade do fluido (μ) [M/L/T] e do diâmetro da esfera (D) [L]:

$$v = \frac{(\gamma_s - \gamma_w) \times D^2}{18 \cdot \mu} \quad (04)$$

O peso de cada fração retida nas peneiras expressa-se em porcentagem do peso total e constrói-se as curvas granulométricas de frequência acumulada.

Após a obtenção das curvas granulométricas, determina-se alguns parâmetros básicos para a caracterização do sedimento. A tendência central da distribuição granulométrica é obtida através da Média Gráfica (M_z). Nessa formulação (FOLK & WARD, 1957 *apud* PETTIJOHN & POTTER, 1987) a média gráfica é obtida a partir de valores de frequência acumulada da curva granulométrica. A média gráfica (Equação 05) é determinada pelo valor médio dos diâmetros d_{16} , d_{50} e d_{84} , correspondentes aos diâmetros das peneiras onde passam 84%, 50% e 16% da amostra, respectivamente:

$$M_z = \frac{d_{84} + d_{50} + d_{16}}{3} \quad (05)$$

As amostras foram classificadas de acordo com os intervalos de tamanhos de grãos propostos por Pettijohn & Potter (1987), apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Intervalos de classificação dos grãos.

	US Standard sieve mesh	Millimeters	Phi (ϕ) units	Wentworth size class
GRAVEL		4096	- 12	
		1024	- 10	Boulder
		256	- 8	
		64	- 6	Cobble
		16	- 4	
	5	4	- 2	Pebble
	6	3.36	- 1.75	
	7	2.83	- 1.5	Granule
	8	2.38	- 1.25	
	10	2.00	- 1.0	
SAND	12	1.68	- 0.75	
	14	1.41	- 0.5	Very coarse sand
	16	1.19	- 0.25	
	18	1.00	0.0	
	20	0.84	0.25	
	25	0.71	0.5	Coarse sand
	30	0.59	0.75	
	35	0.50	1.0	
	40	0.42	1.25	
	45	0.35	1.5	Medium sand
	50	0.30	1.75	
	60	0.25	2.0	
	70	0.210	2.25	
	80	0.177	2.5	Fine sand
	100	0.149	2.75	
	120	0.125	3.0	
	140	0.105	3.25	
	170	0.088	3.5	Very fine sand
	200	0.074	3.75	
	230	0.0625	4.0	
MUD	270	0.053	4.25	
	325	0.044	4.5	Coarse silt
		0.037	4.75	
		0.031	5.0	
		0.0156	6.0	Medium silt
		0.0078	7.0	Fine silt
		0.0039	8.0	Very fine silt
		0.0020	9.0	
		0.00098	10.0	Clay
		0.00049	11.0	
CLAY		0.00024	12.0	
		0.00012	13.0	
		0.00006	14.0	

Fonte: PETTIJOHN & POTTER (1987).

O coeficiente de uniformidade, medida que expressa a dispersão de tamanhos de grão da amostra, foi obtido a partir da Equação 06 (CUSTÓDIO & LLAMAS, 1976):

$$f = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (06)$$

Onde, f é coeficiente de uniformidade e d_{60} e d_{10} , correspondem aos diâmetros das peneiras onde passam 60% e 10% da amostra, respectivamente.

Os coeficientes de uniformidade foram classificados de acordo com os parâmetros da ABNT (1995):

- a) uniformes, quando $f < 5$;
- b) medianamente uniformes, quando $5 < f \leq 15$;
- c) desuniformes, quando $f > 15$.

3.2.2 Determinação da condutividade hidráulica

Devido aos baixos níveis d'água na camada aluvial durante o desenvolvimento das pesquisas, não foi possível a determinação da condutividade a partir de teste de aquífero, como o Teste de Bombeamento e o Slug Teste.

Inicialmente, a condutividade hidráulica foi estimada a partir do modelo BEST e depois pelo método de Breddin.

Para obtenção dos valores de entrada do modelo BEST foram realizados em campo testes de infiltração. Os locais e profundidades onde os testes foram realizados são os mesmos onde foram coletadas as amostras para a análise granulométrica (Figura 7 e Tabela 2).

Testes de Infiltração

O teste de infiltração realizado consistiu de um teste de infiltração tridimensional, com carga superficial positiva (h_{sup}), em infiltrômetro de anel simples com 15 cm de diâmetro.

As etapas de realização dos testes seguiram o sugerido por Souza (2005):

- i. O cilindro é posicionado na camada do solo e inserido a uma profundidade de aproximadamente 1 cm, para prevenir perdas laterais de água durante o processo de infiltração e para assegurar um escoamento lateral simétrico de água na superfície do solo;
- ii. Inicialmente, coleta-se uma amostra do solo (0 a 5 cm de profundidade) próxima do cilindro, no qual servirá para determinar a umidade gravimétrica inicial. Outra amostra deformada é coletada próxima ao local de ensaio para realização do ensaio de granulometria e obtenção da curva de distribuição das partículas;
- iii. Nos testes de infiltração foram adicionados ao anel volumes constantes de água, o tempo começou a ser medido imediatamente após entornada a água no anel e os tempos necessários para a infiltração de cada volume que gastou para infiltrar. Foram realizadas duas repetições (R1 e R2) em cada profundidade.
- iv. No final desta etapa, foi coletada, dentro do perímetro do cilindro, uma amostra do solo deformada para obter a umidade gravimétrica final.
- v. Também foi coletada uma amostra indeformada do solo úmido usando um cilindro de volume conhecido para a determinação da massa específica do solo próxima ao local do ensaio.

Para cada teste foi registrado em planilha individual a identificação dos recipientes das amostras de solo correspondente a cada ponto e profundidade, o volume de água aplicado e o tempo, de maneira sequencial, de infiltração de cada adição de água.

Após a realização da etapa de campo, os valores obtidos e as amostras coletadas foram levadas para etapa de laboratório. As análises foram processadas

no laboratório de Física do Solo do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da UFPE.

Inicialmente, fez-se a pesagem das amostras. Após a pesagem, as amostras foram colocadas em estufa para secagem por 24 horas e, então, foram pesadas novamente.

As umidades gravimétricas iniciais e finais para cada amostra foram obtidas a partir da Equação 07:

$$\theta(\%) = \frac{V_a}{V_t} * 100 \quad (07)$$

onde: θ é a umidade volumétrica, V_a é o volume de água do solo [L^3] e V_t o volume total de água do solo seco [L^3].

Modelo Best

A primeira etapa do método foi a determinação dos parâmetros de forma m , n e η .

Os parâmetros m para cada amostra foram obtidas a partir da Equação 08:

$$m = \frac{1}{p_m} (\sqrt{1 + p_m} - 1) \quad (08)$$

onde: p_m é o índice de forma de meio.

Os parâmetros n para cada amostra foram obtidas a partir da Equação 09:

$$n = \frac{2}{1-m} \quad (09)$$

Os parâmetros η , da curva de condutividade de Burdine (1953), para cada amostra foram obtidas a partir da Equação 10:

$$\eta = \frac{2}{m*n} + 2 + p \quad (10)$$

onde: p é o fator de tortuosidade, igual a 1 para o modelo de Burdine (1953).

Em seguida foram determinados os parâmetros de normalização θ_s , K_s e h_g .

Os parâmetros θ_s para cada amostra foram são estimados a partir da umidade gravimétrica saturada (θ) e da densidade do solo.

Os parâmetros K_s e h_g para cada amostra são obtidos a partir da modelagem das curvas de infiltração (SOUZA *et al.*, 2008).

Na determinação é considerado que para uma fonte de água circular com dado potencial de pressão da água sobre uma superfície de solo uniforme (aqui tomado como igual a zero) e com uma umidade inicial uniforme, a infiltração acumulada tridimensional $I(t)$ e a taxa de infiltração $q(t)$ podem ser aproximadas pelas equações 11 e 12 para o regime transitório e 13 e 14 para o regime estacionário (VASCONCELOS, 2015; SOUZA *et al.*, 2008; HAVERKAMO *et al.*, 1994).

$$I(t) = S\sqrt{t} + [aS^2 + bK_s]t \quad (11)$$

$$q(t) = \frac{S}{2\sqrt{t}} + [aS^2 + bK_s] \quad (12)$$

$$I_{+\infty}(t) = [aS^2 + bK_s]t + c \frac{S^2}{K_s} \quad (13)$$

$$q_{+\infty}(t) = q_{+\infty} = aS^2 + bK_s \quad (14)$$

sendo,

$$a = \frac{\gamma}{r\Delta\theta} \quad (15)$$

$$b = \left(\frac{\theta_o}{\theta_s}\right)^\eta + \frac{2-\beta'}{3} \left[1 - \left(\frac{\theta_o}{\theta_s}\right)^\eta\right] \quad (16)$$

$$c = \frac{1}{2\left[1 - \left(\frac{\theta_o}{\theta_s}\right)^\eta\right](1-\beta)} \ln\left(\frac{1}{\beta}\right) \quad (17)$$

onde: S é a sorvidade [$LT^{-0,5}$], $\Delta\theta$ é a variação de umidade, r é o raio do cilindro [L], γ traduz os efeitos da gravidade no caráter tridimensional da infiltração ($0,6 < \gamma < 0,8$), β é uma constante (aqui igual a 0,6).

3.2.3 Determinação da porosidade efetiva

Levando-se em consideração que a condutividade hidráulica do solo e a porosidade efetiva do solo vêm do mesmo espaço poroso, é esperado que haja uma correlação entre essas variáveis, sendo que ambas são aludidas para uma mesma escala de comprimento interno da geometria dos poros (MESQUITA, 2001).

A partir de tal consideração, pesquisadores formularam equações empíricas para estimar a porosidade efetiva a partir da condutividade hidráulica. Ribeiro *et al.* (2007) testaram e avaliaram nove modelos matemáticos existentes na literatura para esta estimativa e concluíram que as equações de Poulsen *et al.* (1999a) (Equação 18), primeiramente, e de Poulsen *et al.* (1999b) (Equação 19), em segundo lugar, foram as que apresentaram resultados mais significativos.

$$\phi_e = 0,066137K_s^{1/3,15} * \theta_s^{2/3} \quad (18)$$

$$\phi_e = 10^{\left[\frac{\log K_s - 4,3}{2,8}\right]} \quad (19)$$

onde, ϕ_e é a porosidade efetiva (cm³/cm³), K_s é a condutividade hidráulica (cm/dia) e θ_s é a umidade de saturação.

Utilizando-se os valores de condutividade hidráulica obtidos para cada amostra, foram obtidas as porosidades pelas equações 18 e 19.

3.2.4 Estimativa do potencial explorável de água nas aluviões

Determinação da área da superfície da aluvião

A área da superfície da camada aluvial foi determinada com o auxílio do *software* Google Earth Pro versão 7.1. O Google Earth Pro possui, entre outras funcionalidades, acesso a informação GPS (*Global Positioning System*), ferramentas para traçar rotas e ferramentas para calcular áreas e volumes. É um programa de uso gratuito, com uso experimental liberado mediante cadastro.

Avaliando a precisão cartográfica do Google Earth a partir da comparação entre distância medidas em cartas cartográficas e nas imagens do programa, Lopes & Nogueira (2011) encontraram erros médios de apenas 3,54% para as áreas e 1,39% para os perímetros. Menegatto Junior & Ferreira (2013), utilizando imagens provenientes do Google Earth e mapas de hierarquia fluvial para a estimativa da largura de rios, concluíram que o método utilizado, baseado no uso de imagens do Google Earth para definição de larguras de rios, mostrou-se eficiente, mas alertaram que “a realização de trabalhos de campo para conferir a acurácia dos dados se faz necessária e essencial para a confirmação dos dados aferidos”.

Nesta pesquisa, a delimitação dos limites da área superficial da camada aluvial foi feita a partir do contraste das imagens do Google Earth Pro. Foram realizadas visitas a campo para averiguação da concordância entre o contorno determinado a partir das imagens e o real. Essas aferições foram realizadas por checagens visuais e obtenção de coordenadas geográficas através de GPS portátil.

Determinação da espessura da aluvião

A espessura da camada aluvial foi determinada a partir da média entre as profundidades observadas nos poços amazonas do trecho estudado que atingiram o embasamento rochoso.

Cálculo da reserva explorável

Para o cálculo da reserva de água explorável foi utilizada a Equação 20. Onde, V_{exp} é o volume de água potencialmente explorável [L^3], A é a área da aluvião [L^2], b é a espessura de reservação de água média ou espessura saturada média [L] e $\Phi_{e,avg}$ é a porosidade efetiva média da aluvião.

$$V_{exp} = A * b * \Phi_{e,avg} \quad (20)$$

3.3 Demanda e usos da água

A obtenção dos dados de uso e demanda da água foi realizada a partir do Cadastro dos Mananciais e Usos da Água do Alto Capibaribe, realizado no âmbito do projeto Águas de Areias. O objetivo geral deste cadastro “foi conhecer quem usa, como usa e para que usa as águas superficiais e subterrâneas no trecho superior do rio Capibaribe” (SILVA *et al.*, 2016).

A primeira etapa do processo de realização do cadastro foi a concepção do formulário. A versão inicial foi desenvolvida a partir de formulários de uso e cadastros já existentes (ANA, 2011; APAC, 2012), sendo adaptada, a partir de

discussão e consultas com os pesquisadores da área de ciência e tecnologia do Águas de Areias, para a realidade da região e para alcançar os objetivos do cadastro. Foi realizado um teste de aplicação em campo com o formulário preliminar, sendo depois realizados os ajustes necessários até a versão final do formulário (Apêndice A).

O formulário é composto de nove páginas: Página 1 - Dados gerais do usuário; Páginas 2 a 6 - Dados dos mananciais de captação (Rio ou riacho; Barragem, açude ou barreiro; Tanque de pedra; Águas subterrâneas; Nascente ou olho d'água); Página 7 - Dados para usuários fornecedores de água; Página 8 - Usos da água, Página 9 - Dados de aproveitamento de água de chuva.

A segunda etapa foi o treinamento dos cadastradores. Foi realizado um curso com o objetivo de capacitar a (SILVA *et al.*, 2016):

- identificar os distintos tipos de usuários de água a serem cadastrados o âmbito do projeto Águas de Areias;
- aplicar adequadamente os formulários de cadastro de usuários e registrar as informações necessárias;
- processar os dados obtidos no levantamento de campo em planilha eletrônica.

Foi também realizada uma reunião com os cadastradores, onde houve a elucidação do que era desejado em cada parte do formulário de cadastro e o treinamento dos cadastradores para a obtenção das coordenadas geográficas a partir de aparelho GPS portátil.

Para aplicação do cadastro, cada cadastrador recebeu um intervalo numérico prévio para os formulários do cadastro, evitando problemas com duplicidade de informações.

Os dados dos cadastros realizados foram previamente analisados quanto a sua consistência. Os dados validados foram então processados em planilha eletrônica. Os dados não validados voltavam a campo para averiguações e possíveis correções.

3.4 Balanço hídrico expedido de reserva versus demanda

Para a determinação da demanda foram obtidos valores para os fins registrados no processo de Cadastro de Usuários. A partir de valores referenciados na literatura para cada atividade, foram obtidos os consumos diários e a soma destes consumos obteve-se a estimativa da demanda diária total.

A comparação entre as estimativas de volume explorável e de demanda resultou na obtenção de por quanto tempo o volume armazenado na aluvião é capaz de abastecer o consumo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da camada aluvial

4.1.1 Análise granulométrica

Foi feita a análise granulométrica em 6 amostras recolhidas em 3 pontos da área de estudo, conforme Tabela 3.

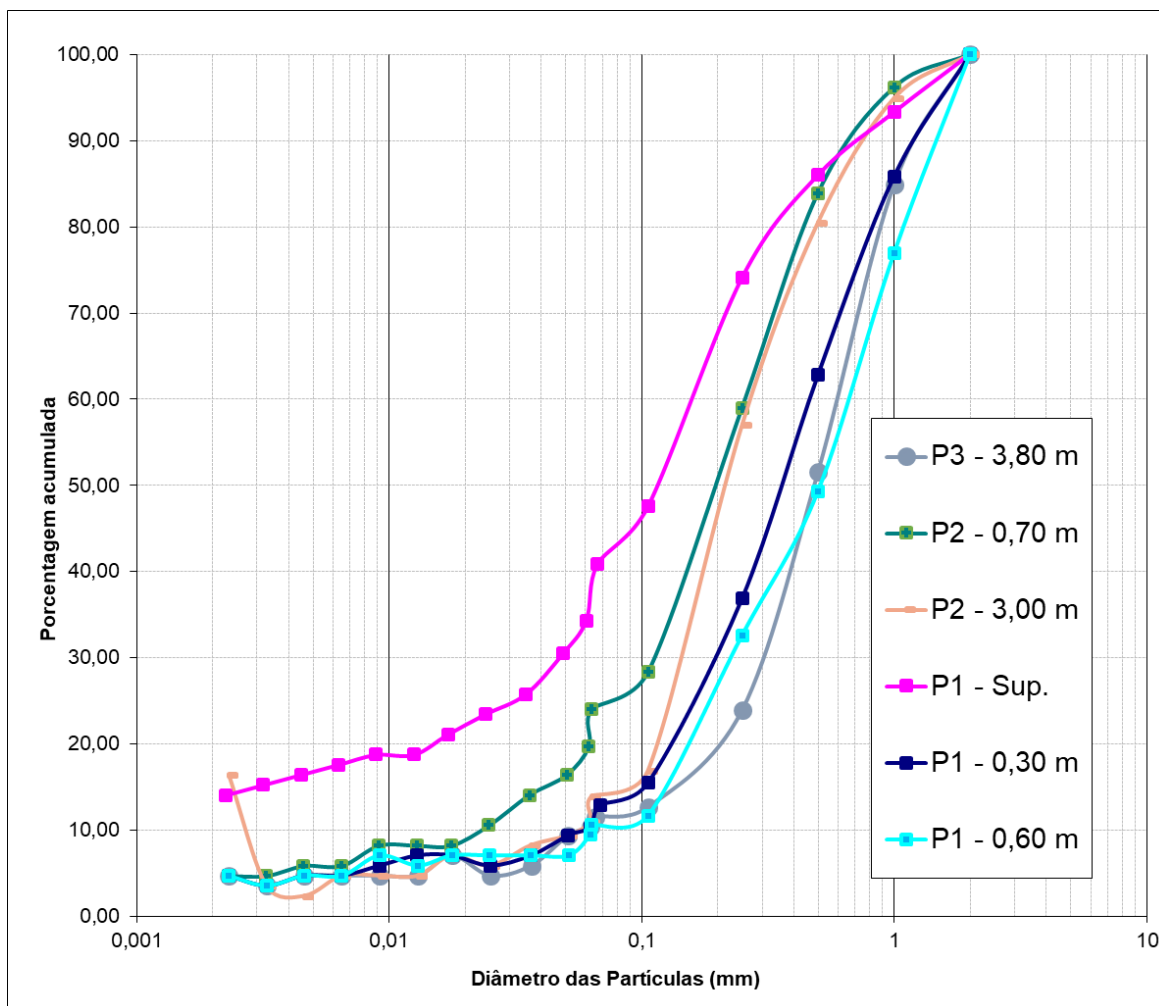
Tabela 3 - Pontos das amostras para análise granulométrica.

Amostra	Local	Profundidade
1	P1	Superfície
2	P1	0,30 m
3	P1	0,60 m
4	P2	0,70 m
5	P2	3,00 m
6	P3	3,80 m

Fonte: O Autor (2018).

Na Figura 9 estão representadas curvas granulométricas de frequência acumulada gerada a partir das análises realizadas. As seis curvas têm comportamento semelhante. A curva da amostra da superfície do ponto P1 é a que difere mais, tendo uma porcentagem maior, próximo a 50%, de partículas com diâmetro de até 0,01 mm, o que já era esperado pelo fato das camadas superficiais em geral terem um maior teor de finos, inclusive de matéria orgânica.

Figura 9 - Curvas granulométricas para as 6 amostras na área de estudo.



Fonte: O Autor (2018).

4.1.2 Coeficiente de uniformidade

Os coeficientes de uniformidade das amostras foram calculados a partir da Equação 06. Os valores de d_{10} e d_{60} de cada amostra foram obtidos a partir de interpolação dos pontos das curvas granulométricas de frequência acumulada, e estão mostrados na Tabela 4.

Excetuando-se a amostra P1 superfície, que apresenta uma grande desuniformidade, as amostras se mostram medianamente uniformes. As amostras mais profundadas, P2 3,00m e P3 3,80m, apresentam mais uniformidade, estando bem próximas do limite de classificação como uniforme (5) da ABNT (1995).

Tabela 4 - Coeficiente de uniformidade e classificação das curvas granulométricas.

Amostra	d_{10}	d_{60}	Coeficiente de uniformidade (f)	Classificação (ABNT, 1995)
P1 sup.	0,002311	0,173613	75,12	Desuniforme
P1 0,30m	0,058984	0,472827	8,02	Medianamente uniforme
P1 0,60m	0,056609	0,69309	12,24	Medianamente uniforme
P2 0,70m	0,023431	0,259805	11,09	Medianamente uniforme
P2 3,00m	0,055765	0,282089	5,06	Medianamente uniforme
P3 3,80m	0,058475	0,313239	5,36	Medianamente uniforme

Fonte: O Autor (2018).

Essa classificação vai ao encontro dos resultados de Rodrigues (2012) que analisando 23 amostras em um vale aluvial do semiárido de rio intermitente do semiárido pernambucano, classificou 18 delas como medianamente uniforme, 3 como desuniforme e 2 como uniforme.

O coeficiente de uniformidade vai impactar diretamente no grau de representatividade dos valores médios tomados para representar cada amostra. Trivialmente é possível se entender que quanto maior for o grau de uniformidade, mais o valor médio tende a ser representativo do todo da amostra.

4.1.3 Média gráfica

Na determinação da média gráfica de cada amostra os valores de d_{16} , d_{50} e d_{84} , foram obtidos através de interpolação entre os pontos das curvas granulométricas de frequência acumulada. Os valores de d_{16} , d_{50} e d_{84} estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Média gráfica das amostras da análise granulométrica.

Amostra	d_{16}	d_{50}	d_{84}	Média gráfica (M_z)	Classe granulométrica
P1 sup.	0,004	0,119	1,637	0,587	Areia Grossa
P1 0,30 m	0,110	0,377	1,119	0,535	Areia Grossa
P1 0,60 m	0,136	0,512	1,306	0,651	Areia Grossa
P2 0,70 m	0,049	0,208	0,502	0,253	Areia Média
P2 3,00 m	0,094	0,225	0,621	0,313	Areia Média
P3 3,80 m	0,149	0,486	0,986	0,540	Areia Grossa

Fonte: O Autor (2018).

A tendência central da distribuição granulométrica, expressa pela média gráfica, indica que a fração mais abundante em todas as amostras, como era de se esperar, é de areia. Os resultados variam de 0,253 (areia média) a 0,651 (areia grossa). Chama a atenção a amostra da superfície do ponto P1, que mesmo tendo uma porcentagem maior passando nas peneiras até 0,01 mm, pela média gráfica é classificada com areia grossa.

A classificação das amostras como de areia média a areia grossa difere um pouco dos valores encontrados em Rodrigues (2012), que no estudo de um vale aluvial classificou a maioria das amostras como areias finas e médias.

Os valores e a classificação em areia de média a grossa confirmam uma impressão visual que pode ser observada na aluvião na área da pesquisa. Essa classe de solos tende a ser mais propícia para a acumulação e extração de água da aluvião, com melhor porosidade e condutividade hidráulica para este fim.

4.1.4 Condutividade hidráulica

A condutividade hidráulica foi inicialmente determinada a partir do método BEST (Método de Beerkan). A aplicação do método de Beerkan só foi possível nas amostras P2 0,70 m e P3 3,80 m. O tempo de infiltração muito rápido impossibilitou a aplicação do método nos demais casos. Os valores calculados estão explicitados na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores para condutividade hidráulica a partir do método de Beerkan.

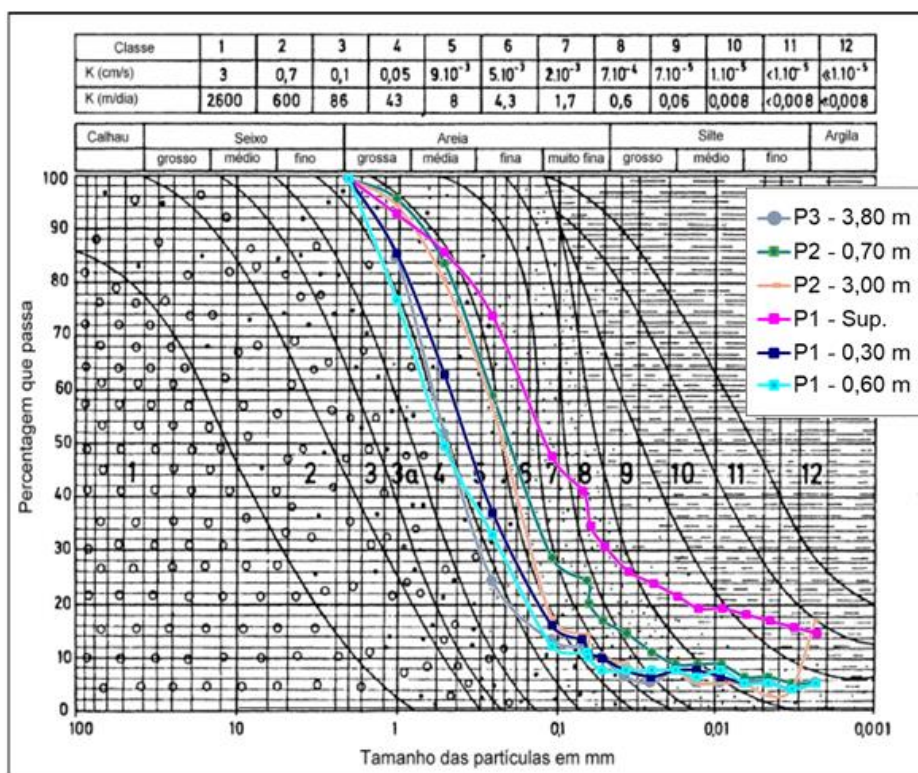
Amostra	K - Condutividade hidráulica (mm/s)
P2 0,70 m	0,06
P3 3,80 m	0,31

Fonte: O Autor (2018).

Na impossibilidade de obter-se as condutividades hidráulicas diretamente a partir dos testes realizados, optou-se como alternativa a determinação indireta da condutividade pelo método de Breddin.

A Figura 10 apresenta as curvas granulométricas de frequência acumulada nas classes do método de Breddin. Excetuando-se a curva da Amostra P1 superficial, as demais curvas têm sua maior parte quase que totalmente compreendida nas faixas 5 e 6.

Figura 10 - Curvas granulométricas plotadas nas classes de Breddin.



Fonte: O Autor (2018)

Nota: Adaptado de Custódio & Llamas, (1976).

Todas as curvas ocuparam mais de uma classe. Na determinação da condutividade hidráulica de cada curva foi levado em conta o tamanho do intervalo em que a curva está presente em cada faixa, proporcionalmente.

Os valores encontrados (Tabela 7) variam de 10^{-5} a 10^{-4} m/s. Esses valores podem ser considerados bem coerentes, Fetter (1988) afirma que areias bem selecionadas apresentam condutividade hidráulica na faixa de 10^{-5} a 10^{-3} m/s. Em comparação aos valores determinados pelo método de Beerkan, os valores encontrados para P2 0,70 m e para P3 3,80 m apresentam valores na mesma ordem de grandeza para cada amostra, 10^{-5} e 10^{-4} m/s, respectivamente, sendo que para P2 0,70 m foi encontrado o mesmo valor, 0,06 mm/s.

Tabela 7 - Valores condutividade hidráulica determinados pelo método de Breedin.

Amostra	K - Condutividade hidráulica (mm/s)
P1 sup.	0,03
P1 0,30 m	0,08
P1 0,60 m	0,27
P2 0,70 m	0,06
P2 3,00 m	0,06
P3 3,80 m	0,19
Média	0,11

Fonte: O Autor (2018).

Silva (2015), através de equações empíricas, obteve resultados entre 10^{-4} e 10^{-3} m/s para a mesma área de estudo deste trabalho. Também nessa área de estudo, Vasconcelos (2015), utilizando a metodologia de Beerkan, caracterizou as camadas de aluvião com condutividade hidráulica variando na faixa entre 10^{-6} a 10^{-3} m/s e valores médios de 0,75 mm/s e 0,27 mm/s nas duas áreas por ela amostradas. Esses valores, em especial os valores médios determinados por Vasconcelos (2015), são bem próximos e coerentes com os aqui calculados.

4.1.5 Porosidade efetiva

Os valores encontrados para a porosidade efetiva estão mostrados na Tabela 8. Não foi possível o cálculo da porosidade através da equação de Poulsen *et al.* (1999a) nas amostras onde a utilização do método de Beerkan não foi viável, porque a expressão necessita da variável θ_s (umidade de saturação), que é um dos parâmetros obtidos através deste método.

Tabela 8 - Valores de porosidade efetiva.

Amostra	Condutividade Hidráulica (cm/dia)	Equações		
		Poulsen <i>et al.</i> (1999a)		Poulsen <i>et al.</i> (1999b)
		θ_s	$\Phi_e = 0,066137 * K^{1/3,15} * \theta_s^{2/3}$	$\Phi_e = 10 [(log K - 4,3)/2,8]$
P1 sup.	286,83072	-	-	21,98%
P1 0,30 m	693,29088	-	-	30,12%
P1 0,60 m	2303,84736	-	-	46,26%
P2 0,70 m	485,42112	0,415	26,22%	26,52%
P2 3,00 m	557,928	-	-	27,87%
P3 3,80 m	1629,00288	0,406	41,26%	40,87%
Média	992,72016	-	33,74%	34,24%

Fonte: O Autor (2018).

Para as duas amostras em que a porosidade foi determinada também pela equação de Poulsen *et al.* (1999a) é possível ver que os valores calculados são muito próximos dos determinados pela equação de Poulsen *et al.* (1999b).

O valor médio encontrado demonstra uma camada aluvial com uma porosidade muito propícia para a acumulação de água. Rodrigues (2012) usando a equação de Poulsen *et al.* (1999b) para uma aluvião em outra localidade do semiárido pernambucano encontrou o valor médio de 15,5%, bem abaixo dos valores aqui determinados. Vasconcelos (2015) em sua pesquisa realizada na mesma aluvião da pesquisa aqui apresentada, determinou, pelo método de

Beerkan, valores de porosidade total variando de 41,48% a 49,47%. Silva (2015) também nesta mesma região de estudo obteve uma porosidade de 46%.

4.2 Estimativa do potencial explorável de água nas aluviões

4.2.1 Determinação da área da superfície da aluvião

O contorno da área superficial da aluvião no trecho em estudo foi determinado usando imagens via satélite, através das imagens do *software* Google Earth Pro 7.1. Na perspectiva de se obter imagens que melhor permitissem a delimitação da superfície da aluvião foram usadas imagens de diferentes datas de aquisição. Assim, foi possível obter-se para cada trecho a imagem mais nítida, descartando o uso das que apresentassem problemas, como nuvens, dificultando a visualização da superfície.

Além do contraste das imagens do Google Earth Pro, foram utilizados artifícios de campo, como a checagem da coerência entre o contorno obtido através das imagens de satélite e das condições realmente existentes em campo e o registro de coordenadas geográficas através de aparelho GPS portátil.

A área delimitada está mostrada na Figura 11.

Figura 11 - Superfície da camada aluvial.



Fonte: O Autor (2018).

O valor obtido foi de 346.196 m² (0,346 km²). Considerando que o trecho tem um comprimento longitudinal de aproximadamente 8.340 m, tem-se uma largura média da aluvião de 41,5 m.

4.2.2 Espessura da aluvião

A espessura da aluvião foi determinada a partir da profundidade dos poços amazonas do trecho. Com o rebaixamento do nível d'água na aluvião pelo prolongamento da seca, vários poços foram aprofundados até o embasamento rochoso, ou muito próximo a isso. O valor considerado foi o valor médio entre essas profundidades dos poços, sendo calculado o valor de 3,61 m.

4.2.3 Níveis inferior e superior exploráveis

Para determinação da espessura da aluvião que é explorada, precisa-se definir, dentro da espessura total da camada aluvial, os limites inferior e superior de acumulação de água para exploração.

Como limite inferior foi considerado o próprio embasamento rochoso. Essa consideração foi feita a partir da realidade já presente, onde boa parte dos poços já atinge esse limite.

A definição do limite superior é menos trivial. Uma possibilidade seria a observação dos níveis da água na aluvião após um período chuvoso regular. Como todo o desenvolvimento desta pesquisa se deu em um cenário de seca prolongada, esta opção tornou-se inviável.

Para determinação do limite superior foi levada em consideração a espessura da aluvião necessária para reduzir ao mínimo as perdas por evaporação na camada de aluvião. A partir deste ponto estará a água “reservada” para a exploração. A partir dos dados de Araújo Filho, Cabral & Silva (2016), que pesquisou a influência da camada de areia na proteção do efeito da evaporação da água armazenada na aluvião, foi adotado o valor de 0,5 m.

Assim, a espessura média explorável da aluvião é de 3,11 m.

4.2.4 Cálculo da reserva de água explorável

A partir dos valores obtidos de porosidade efetiva média ($\phi_{e,avg}$), da área da superfície da aluvião (A) e da espessura saturada média (b), foi possível obter-se o volume de água potencialmente explorável (V_{exp}) pela equação 20.

$$V_{exp} = A * b * \phi_{e,avg} \quad (20)$$

O valor calculado foi da ordem de 900 mil m³. E uma reserva potencial de aproximadamente 100 m³/m no sentido longitudinal do trecho. Silva (2015) estimando o potencial de acumulação de água na aluvião do mesmo trecho chegou ao valor de 69 m³ para cada metro de extensão longitudinal do trecho. No seu cálculo, Silva (2015) considerou uma largura de 50 m (a menor entre as três seções por ele levantadas), uma espessura de 3 m e 46% de porosidade. Por isso registra-se a diferença no valor calculado.

4.3 Cadastro de usuários

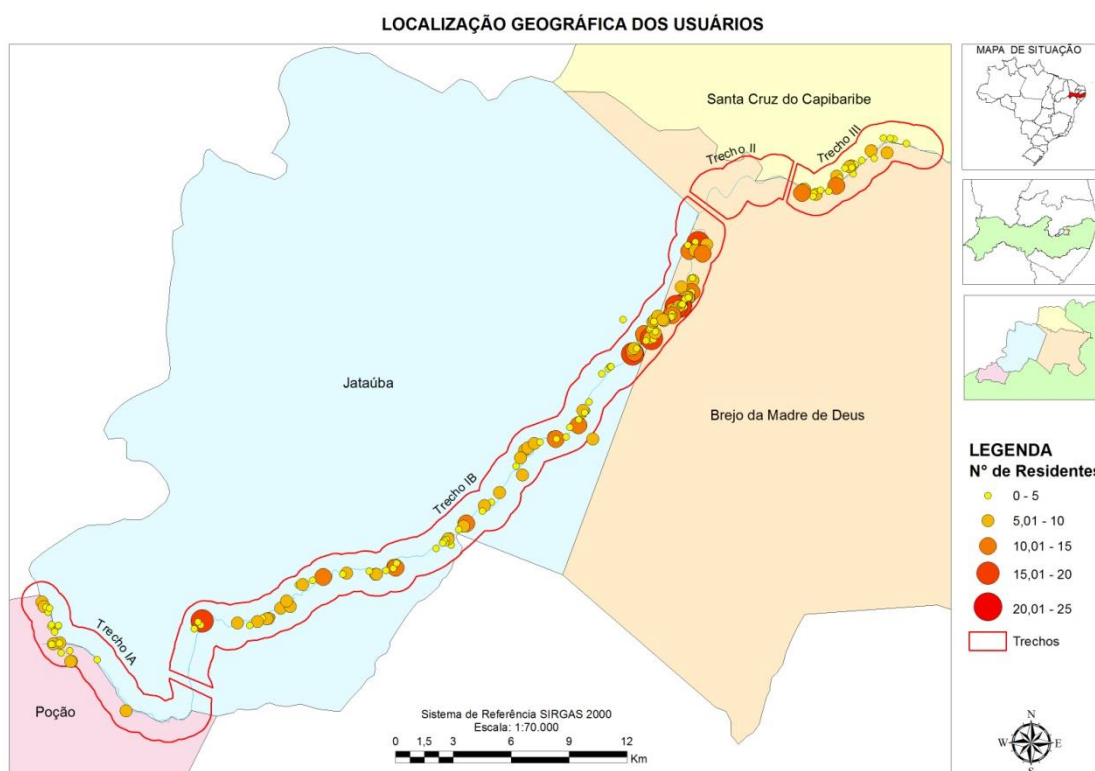
O Cadastro de Usuários de Água do Alto Capibaribe foi parte do Projeto Águas de Areias. O Águas de Areias foi um projeto desenvolvido pela ANE (Associação Águas do Nordeste) e financiado pela Petrobrás, através do Programa Petrobrás Ambiental. O Projeto foi executado de 2014 a 2016, tendo desenvolvido atividades e pesquisas buscando integrar os princípios teóricos e científicos da pesquisa e da educação ao conhecimento tradicional local (Braga *et al.*, 2016).

O objetivo geral do Águas de Areias foi contribuir para a recuperação ambiental e gestão dos mananciais de águas das areias de aluvião no Alto Capibaribe. Teve como objetivos específicos o conhecimento do funcionamento do sistema de acumulação de água e sedimentos nas aluviões; o desenvolvimento de tecnologias otimizadoras para a conservação e captação de água nas areias de

aluvião; a criação e implementação de uma rede de sustentabilidade hídrica e o fortalecimento de estratégias de governança local da água.

O Cadastro de Usuários do Águas de Areias foi desenvolvido em toda área do Projeto, deste a nascente do rio Capibaribe, no Sítio Araçá no município de Poção, até o trecho onde o riacho do Arapuá se encontra com o rio Capibaribe, já bem próximo à zona urbana da cidade de Santa Cruz do Capibaribe (Figura 12). O trecho tem aproximadamente 79 km. O Cadastro Geral do Águas de Areias totalizou 251 cadastros.

Figura 12 - Trechos da área de estudo do projeto Águas de Areias.



Fonte: Silva *et al.* (2016).

Aqui serão trabalhados os cadastros do Trecho 3, do Projeto Águas de Areias. Este trecho se estende desde a barragem de Poço Fundo até o encontro do riacho do Arapuá com o Capibaribe. Este trecho tem extensão de aproximadamente 11 km e nele foram realizados 33 cadastros, no período de 7 de setembro de 2014 a 10 de outubro de 2014.

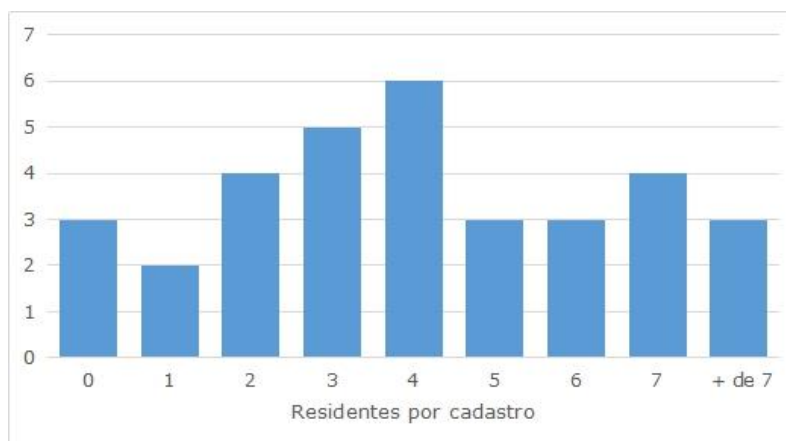
No momento que o cadastro foi realizado a região já se encontrava assolada por uma seca que se prolonga desde 2012. Durante as entrevistas tentou-se, sempre que possível, invocar os cenários de épocas com melhores condições de oferta de água. Também nas outras etapas desta pesquisa, até sua conclusão, apesar de toda expectativa, a área de estudo continuou enfrentando um cenário de seca. Ainda em 2017, quando outras regiões do semiárido apresentaram um cenário melhor de chuvas, o posto pluviométrico mais próximo da área dessa pesquisa (Posto 86 - Santa Cruz do Capibaribe) teve uma pluviometria acumulada anual de 280,2 mm, quando a média anual histórica é de aproximadamente 600 mm (APAC, 2018). Assim sendo, deixa-se registrado que os resultados aqui apresentados são de uma pesquisa realizada nessas condições de escassez severa.

4.3.1 Dados gerais

Os 33 cadastrados situam-se em 4 povoados, sendo eles: Sítio Morcego, Sítio Poço Comprido, Sítio Poço da Lama e Sítio Arapuá.

Dos 33 cadastros, em 3 deles não havia residentes, sendo uma indústria (lavanderia de jeans) e duas fazendas de criação de gado. Nos outros 30 cadastros haviam 143 residentes, ficando uma média de quase 5 residentes por cadastro, variando de 0 a 13 residentes por cadastro. A distribuição de residentes está mostrada na Figura 13.

Figura 13 - Distribuição do número de residentes por cadastro.

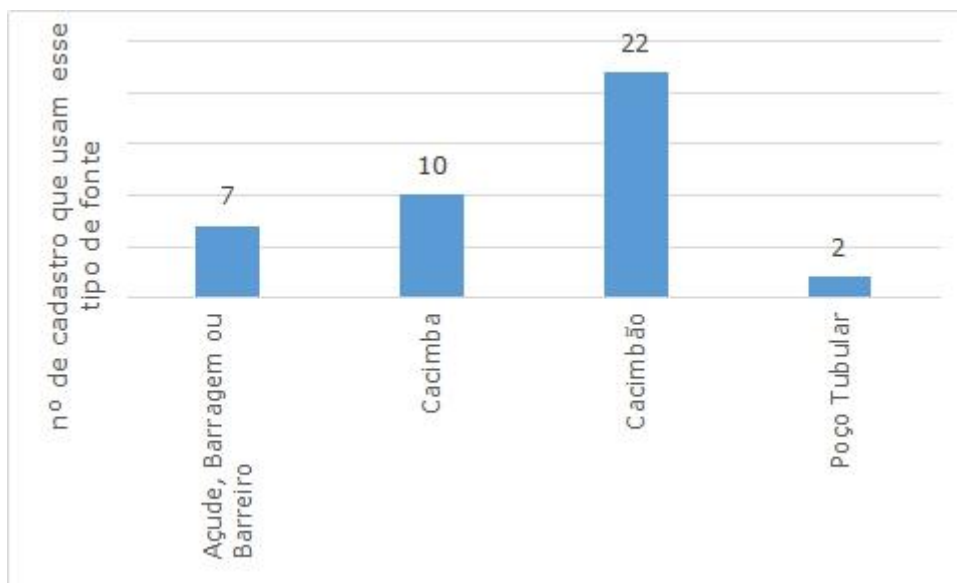


Fonte: O Autor (2018).

Apesar de toda a extensão da área de estudo ser cortada pela adutora, em forma de canal, que leva água da barragem de Poço Fundo até à cidade de Santa Cruz do Capibaribe, não há registro de abastecimento por rede pública. Isto reforça que o abastecimento de comunidades difusas do semiárido não é, ou será, em geral, feito através de adutoras.

A Figura 14 mostra as fontes de captação registradas nos cadastros. Nota-se o uso preponderante das águas armazenadas na aluvião, sendo que em 32 dos 33 cadastros havia uso de fontes com esse manancial como origem da água (22 cacimbões e 10 cacimbas). A única família que não faz uso da água da aluvião usa como fonte um poço tubular.

Figura 14 - Distribuição das fontes de captação.



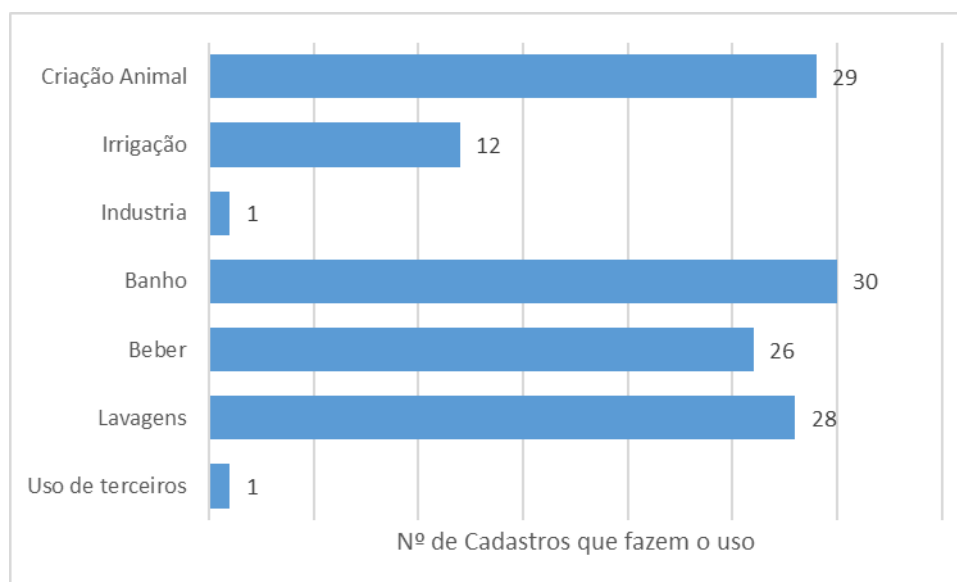
Fonte: O Autor (2018).

Em 7 casos existe uso de duas ou mais fontes das listadas na Figura 14. Não foram encontrados registros de captação em rio ou riacho, em tanque de pedra ou em olho d'água no trecho. A captação direta do rio acontece somente em épocas de cheias, que por ser efêmero não tem escoamento superficial na maior parte do período hidrológico.

Em todos os casos onde açude, barreiro ou barragem se constituía como uma das fontes de captação, a água da aluvião também é usada. Isso é justificado pois as altas taxas de evaporação fazem com que a água acumulada nas fontes superficiais, ainda que não seja esgotada pelo uso, evapore, carecendo que em boa parte do ano se tenha outra fonte de captação.

Na Figura 15 apresenta a incidência dos usos da água. A maioria dos usos da água são em atividades domésticas (beber e preparar alimentos, banho, lavagens de pisos e roupas e descarga sanitária) e agropecuárias (criação de animais e irrigação, estas presentes em 30 e 29 casos, respectivamente).

Figura 15 - Distribuição das finalidades de uso das águas.



Fonte: O Autor (2018).

No trecho há uma lavandeira de jeans que usa água de um cacimbão em seu processo industrial. Esta é uma prática que acontece em maior número em trechos mais a jusante do rio Capibaribe, à medida que este se aproxima da cidade de Toritama. Não se identificou registro de que haja descarte de águas residuárias oriundas dessa lavanderia no rio.

Não houve registro, no momento da pesquisa, de atividades de pesca ou piscicultura.

Há dois usuários que foram definidos também na categoria de fornecedores de água, além de consumidores. Um cede água de seu cacimbão para o

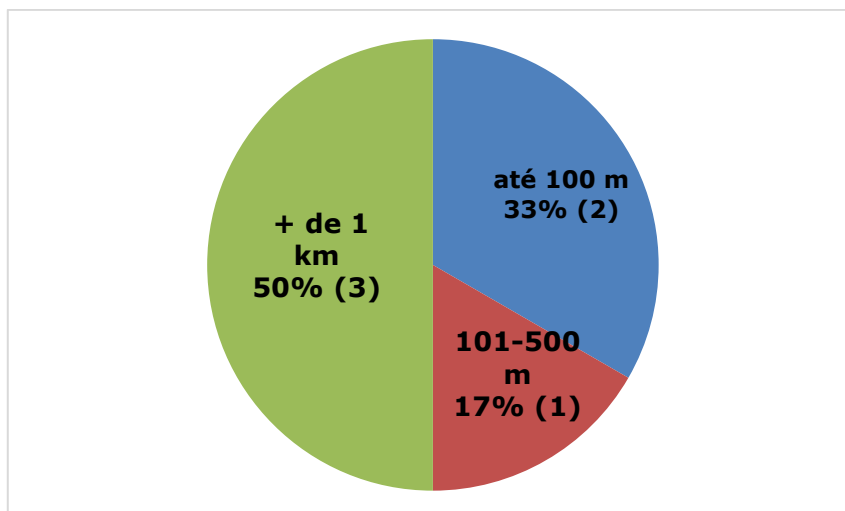
abastecimento de outro morador local e o outro cede água a terceiros. A exportação de água da aluvião, através de carros pipas, para o abastecimento de zonas urbanas nos distritos e na cidade de Santa Cruz do Capibaribe é comum. A cidade de Santa Cruz do Capibaribe é abastecida prioritariamente pela barragem de Jucazinho. A barragem de Jucazinho esteve com 100% do seu volume pela última vez em 2011 e está totalmente em colapso desde 2016 (G1, 2017). Nesse cenário, a água da aluvião foi umas das alternativas buscadas pela população da cidade para o acesso à água, através de carros pipas. Esta atividade estava bastante diminuída quando do momento das entrevistas para o cadastro por conta dos baixos níveis d'água na aluvião.

4.3.2 Barragens, açudes e barreiros

Todos os usuários que fazem uso de barragens, açudes ou barreiros usam a água captada, ainda que não permanentemente, para a criação animal. Um utiliza a água também para irrigação e um utiliza a água também para banho e lavagens de piso e roupas. Nenhum usuário declarou usar a água destes mananciais para beber ou preparar alimentos.

Foram obtidos os dados de utilização desses mananciais de 6 dos 7 usuários que fazem usos deles. A Figura 16 mostra que a maior parte dos mananciais deste tipo situa-se a distâncias relativamente grandes das residências. Isso dificulta ainda mais seu uso em comparação aos poços escavados na aluvião do rio, já que as casas em geral foram construídas próximo deste. Segundo o que foi repassado pelos ribeirinhos, 5 das 6 estruturas foram construídas há mais de 10 anos. Segundo os entrevistados, 5 declararam que estes mananciais não atendem bem à demanda durante todo o ano, sendo que 5 se encontravam vazios ou muito próximos do esvaziamento.

Figura 16 - Distância entre a residência e o açude, barreiro ou barragem.



Fonte: O Autor (2018).

4.3.3 Águas subterrâneas

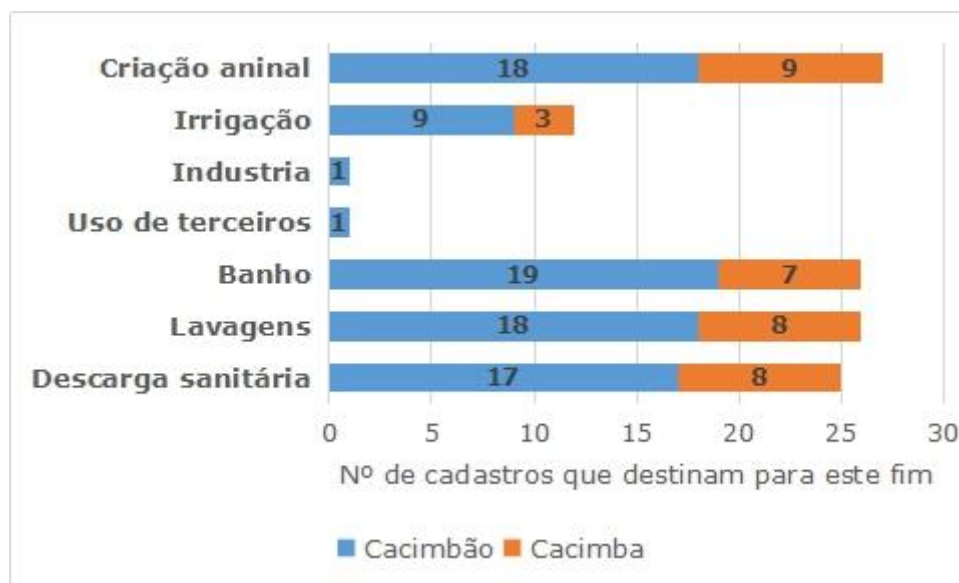
Estando a região em situação de grande escassez hídrica agravada pelos anos seguidos de seca, a fonte de água mais usada, e por muitas vezes a única possível, são as águas subterrâneas, principalmente as águas armazenadas na aluvião.

Sendo o manancial mais usado para atividades produtivas, o uso das águas armazenadas na aluvião é registrado em 32 dos 33 cadastros realizados. Em 22 casos a captação é feita através de cacimbões e em 10 casos através de cacimbas. Parte dessas cacimbas foram escavadas recentemente, no atual período de seca, de maneira emergencial, na perspectiva de abastecer os próprios ribeirinhos e terceiros através de carros pipas. Algumas das cacimbas escavadas nesse período já foram transformadas em cacimbões, através da construção de paredes de revestimento dos poços.

A Figura 17 ilustra a distribuição dos usos das águas de aluvião. Destaca-se que entre os que têm como atividade a criação animal, 93% usam águas de cacimbões ou cacimbas para este fim. Todos os que irrigam utilizam na irrigação

as águas de aluvião. 29 dos 30 entrevistados usam esse manancial nas atividades domésticas, exceto para beber e preparar alimentos.

Figura 17 - Usos das águas armazenadas na aluvião.

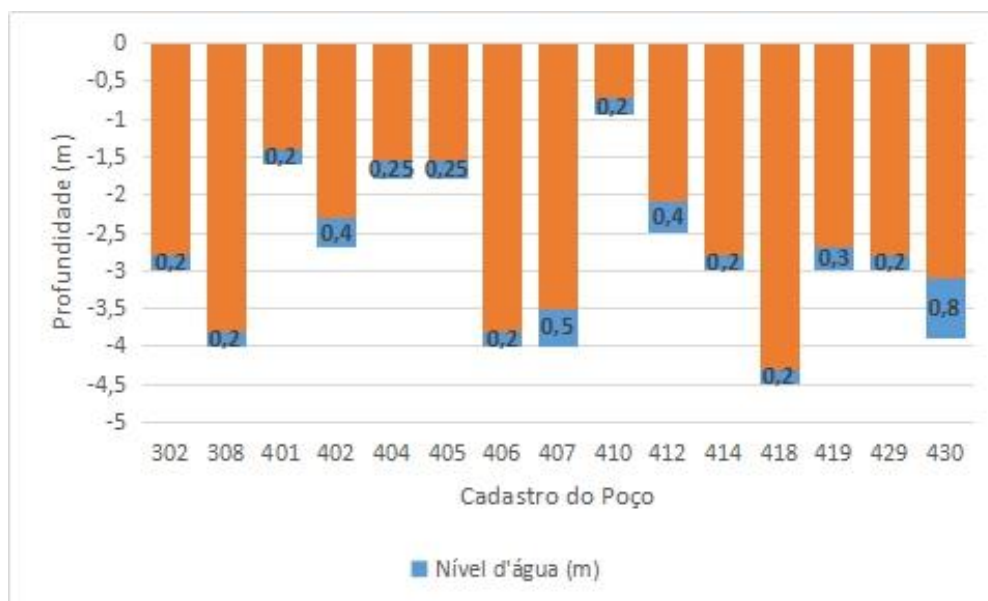


Fonte: O Autor (2018).

Os cacimbões têm profundidade média de 3 m e em média estavam com lâmina de água de 30 cm, em 2014. As cacimbas tinham profundidade média também de 3 m e lâmina de água média de 52 cm. Na Figura 18 é possível ver a distribuição de profundidade e as lâminas de água dos cacimbões. O que determina a profundidade dos poços na aluvião é a profundidade da lâmina d'água, sendo escavado até ser possível atingi-la e captar a água no volume necessário. Com o prolongamento da seca e o consequente rebaixamento do nível da água na areia, os poços foram sendo aprofundados. Alguns poços da área já se encontravam escavados até o encontro com o embasamento rochoso.

Analisando a diferença na profundidade em que se encontrava a lâmina de água nos poços, vê-se que há diferenças significativas, variando de menos de 1 m a mais de 4 m de profundidade até a água. Um possível entendimento disso é que deve haver barramentos naturais na área em alguns pontos dificultando o escoamento subsuperficial no sentido de equilíbrio da energia potencial da água na aluvião.

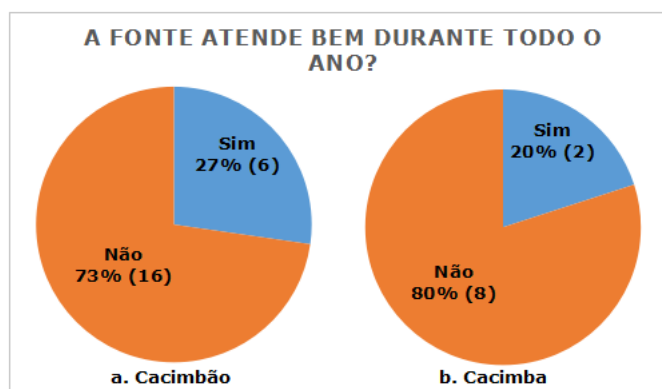
Figura 18 - Distribuição das profundidades dos poços.



Fonte: O Autor (2018).

Apesar da água armazenada na aluvião ser a fonte mais segura e permanente de armazenamento, a maior parte dos usuários considerou que o manancial não atende bem durante todo o ano (Figura 19). Devido ao baixo nível d'água nas aluviões, em decorrência da longa estiagem e da grande demanda, boa parte dos ribeirinhos foi obrigada a diminuir, ou até mesmo parar, as atividades de criação animal e de irrigação. Não houve diferença significativa nessa questão entre os que possuem cacimba ou cacimbão, o que se sobrepõe é a quantidade limitada de água disponível.

Figura 19 - Resposta dos entrevistados sobre o atendimento da demanda de água pelas estruturas de captação da água armazenada na aluvião.



Fonte: O Autor (2018).

Dois usuários fazem uso prioritários de poços tubulares para as atividades de criação animal e domésticas, exceto beber e preparar alimentos.

Ambos os poços tiveram construção recente (menos de 5 anos). As profundidades são 50 e 70 m. Nenhum, de acordo com os usuários, teve diminuição da vazão. Os dois foram considerados como atendendo bem durante todo o ano.

4.3.4 Água de chuva

Comum na região de estudo, existem cisternas em aproximadamente 80% dos cadastrados realizados. Em apenas um caso a cisterna não possuía estrutura de captação de água do telhado.

Em 24 dos 25 cadastros onde há residentes e que se possui cisternas, usa-se a água das cisternas para beber e preparar alimentos. E 5 usuários declararam usar a água desta fonte para banho e lavagens. Em nenhum registro foi declarado o uso da água das cisternas para as atividades de criação animal ou irrigação. Fica evidenciado o uso majoritário da água das cisternas para beber e preparar alimentos.

Os entrevistados, na época em que os questionários foram aplicados, estavam abastecendo as cisternas com carros pipas em 16 dos 26 casos. Destes 16 que abasteciam a cisterna com carros pipas, apenas 2 receberam água de programas governamentais (no caso, do exército), os outros 10 compraram a água.

A Figura 20 mostra a distribuição da capacidade de armazenamento em cisterna e a Figura 21 mostra a distribuição da capacidade de armazenamento per capita. Em 64% dos casos a capacidade de armazenamento é de até 16 mil litros, tamanho padrão da cisterna construída no Programa Um Milhão de Cisternas.

A capacidade de armazenamento média é de 3,88 mil L/hab. Considerando que a cisterna esteja cheia no final do período chuvoso, em julho, até o início do próximo, em fevereiro, cada habitante terá disponível em média aproximadamente 650 litros de água por mês, em torno de 20 litros por dia, 20 L/hab/dia é justamente o valor mínimo razoável definido pela Organização Mundial da Saúde (WHO/UNICEF, 2000). Os dados obtidos evidenciam que, mesmo em anos onde a chuvas fiquem perto da média histórica, a água armazenada nas cisternas será

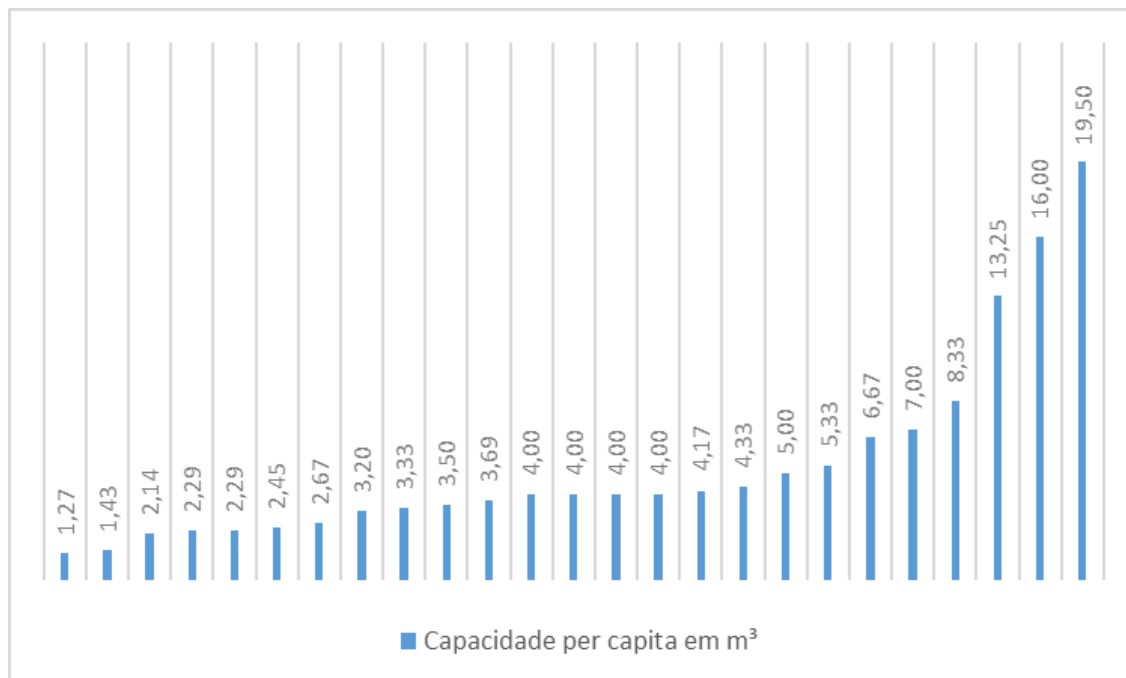
suficiente apenas para o uso mais nobre em atividades domésticas. Em geral, para beber e preparar alimentos.

Figura 20 - Capacidade de armazenamento em cisterna entre os cadastrados que a possuem.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 21 - Capacidade de armazenamento per capita em cisterna.



Fonte: O Autor (2018).

Entre os usuários entrevistados, 7 declararam que a(s) cisterna(s) atende(m) a demanda durante todo o ano, e 18 que não atende. Sobre o período crítico, 9

responderam que ele se estende entre agosto e janeiro/fevereiro e 2, alegando grande consumo, responderam o ano todo.

Não foram feitos registros de cisternas calçadão na área pesquisada. É uma das alternativas de abastecimento, inclusive é uma das políticas públicas de potencialização da produção da agricultura familiar (SANTANA, 2015). A cisterna calçadão tende a contribuir no combate a escassez hídrica mesmo em anos de baixa pluviosidade, pois tem sua capacidade de armazenamento preenchida a partir de um regime médio anual de 300 mm de chuva (SANTOS, 2013).

Foi registrada ampla oferta de áreas nas propriedades dos cadastrados onde seria possível a instalação de uma cisterna calçadão, o espaço necessário para a construção do calçadão é de 200 m². Ao serem questionados, os entrevistados, em geral, mostraram o desejo de possuir cisternas deste tipo.

4.3.5 Irrigação

Dos 12 usuários que realizam irrigação, 9 irrigam apenas capim, 1 irriga apenas coentro, 1 irriga apenas árvores frutíferas e 1 irriga capim e árvores frutíferas. Vários ribeirinhos declararam que não estão irrigando mais áreas ou mais culturas por conta da escassez hídrica. Em função da seca intensa, é comum que se tenha diminuído o cultivo irrigado para poupar água na tentativa de garantir a dessedentação dos animais. A quase totalidade da cultura irrigada sendo capim, utilizado como alimento para a criação animal, reforça essa atitude.

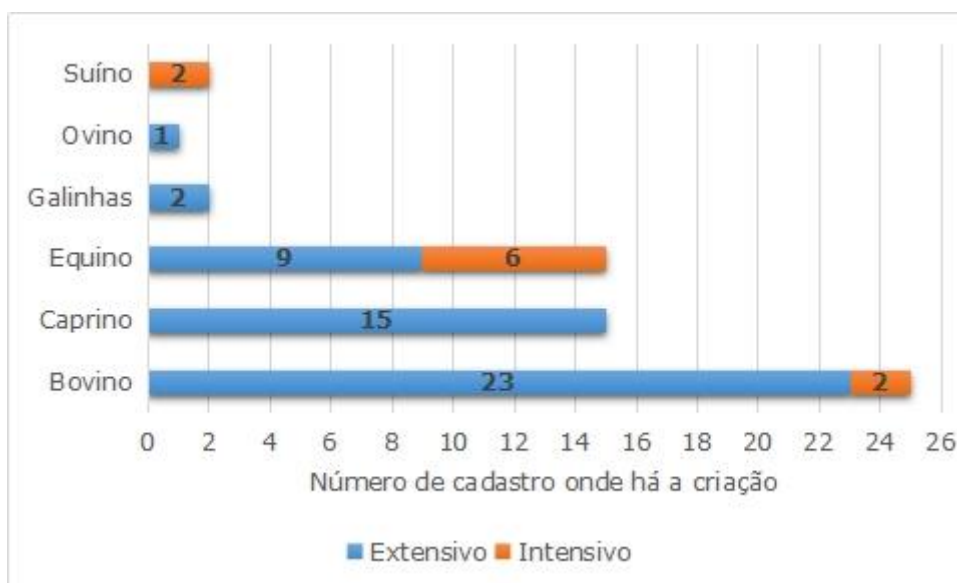
Em todos os casos a irrigação era feita por aspersão, e em apenas um caso a irrigação era feita também por gotejamento.

4.3.6 Criação animal

A principal atividade produtiva na área estudada é a criação animal. Dos 33 cadastros realizados, em apenas 4 não há criação animal. Os recursos hídricos disponíveis, em destaque a água da aluvião, são bastante utilizados para este fim.

Na Figura 22 vemos a incidência de criação de cada espécie. Em 21 cadastros havia criação de 2 ou mais espécies. Na grande maioria dos casos, a água é utilizada na dessedentação dos animais, sendo criações de tipo extensivas. A Tabela 9 apresenta a população animal por espécie. Apesar de haver uma quantidade maior de casos onde há a criação de bovinos, a espécie com maior população é a de caprinos.

Figura 22 - Distribuição da criação de animais.



Fonte: O Autor (2018).

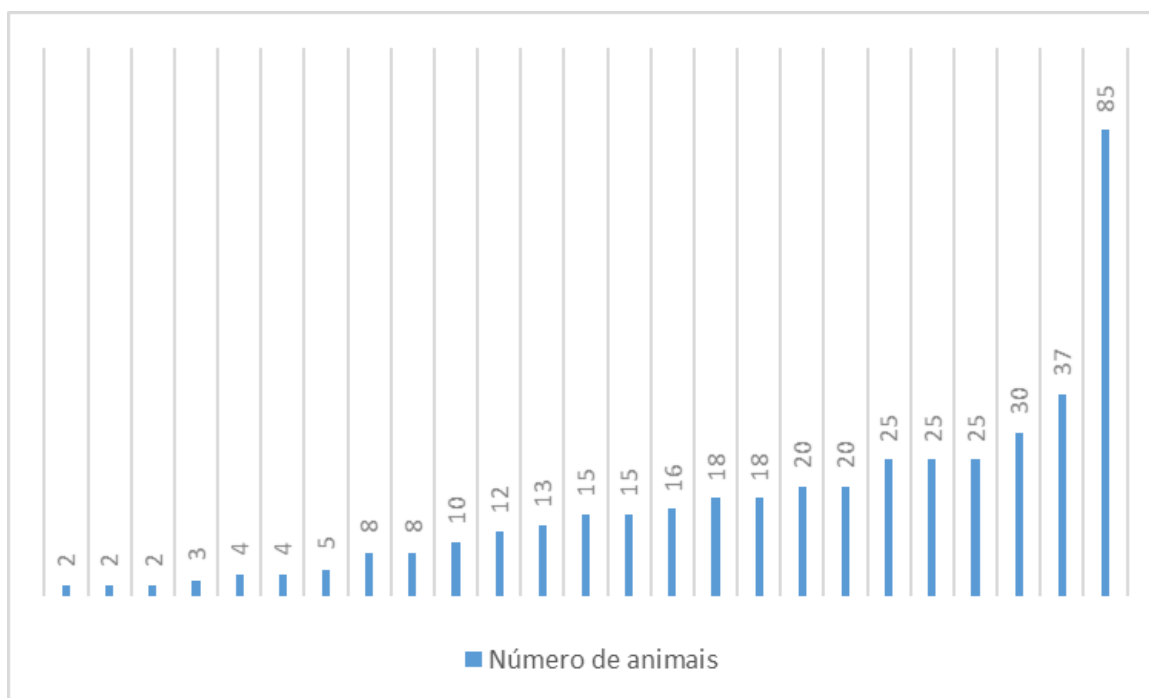
A média na criação bovina é de 17 animais a cada cadastro entre os que criam. As faixas de distribuição estão mostradas na Figura 23. Entre as criações de caprinos, a média entre os 15 cadastros onde há criadores é de 49 animais, havendo grande variação na distribuição, como se vê na Figura 24.

Tabela 9 - População animal por espécie.

Espécie	População
Bovinos	422
Suínos	22
Caprinos	740
Galináceos	35
Equinos	73
Ovinos	20

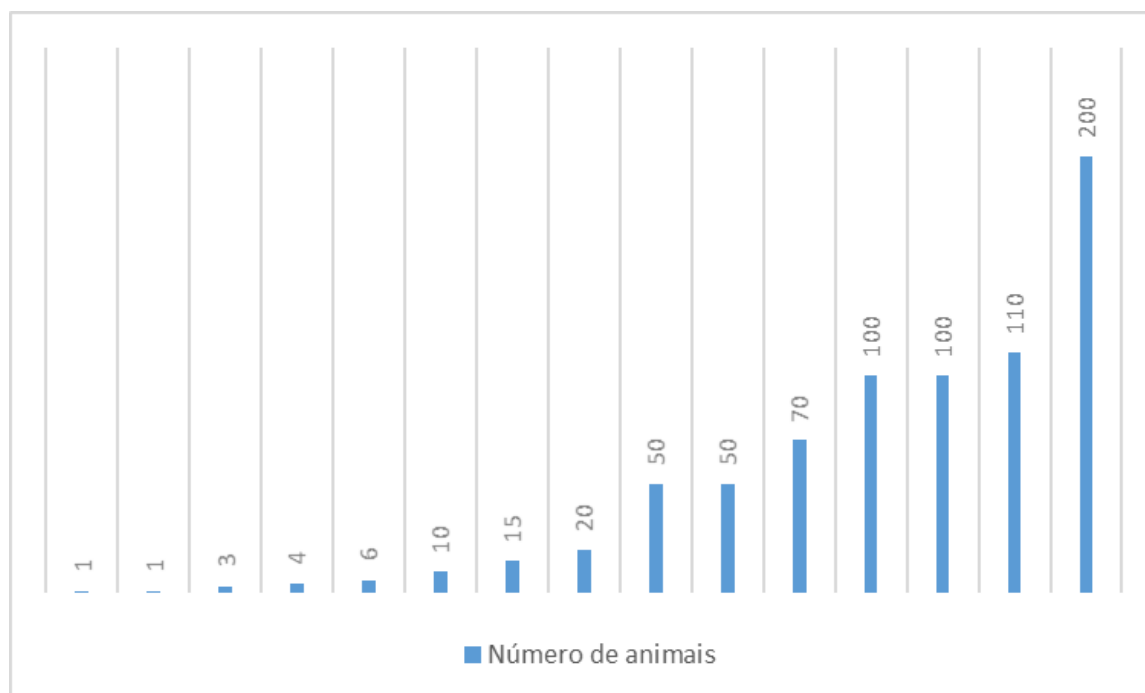
Fonte: O Autor (2018).

Figura 23 - Quantidade de bovinos criados nos cadastros.



Fonte: O Autor (2018).

Figura 24 - Quantidade de caprinos criados nos cadastros.



Fonte: O Autor (2018).

4.4 Balanço hídrico expedido de reserva versus demanda

O estabelecimento de qual é a real demanda de água pelos residentes dos povoados da região estudada é uma tarefa de difícil solução exata. As dificuldades advêm de diferentes fatores. Por exemplo, em geral, não são as atividades desenvolvidas que estabelecem um determinado consumo como demanda de água, e sim a quantidade de água disponível é que estabelece as atividades, e em que grau.

Também a quantificação do que é consumido pelas famílias nas suas atividades torna-se difícil porque, em geral, o consumo não é feito de forma regular e, menos ainda, medido. Aqui o consumo médio foi estabelecido por valores da literatura para as atividades desenvolvidas.

O consumo humano per capita adotado foi de 150 L/dia (HELLER & PÁDUA, 2016). Assim, com uma população residente de 143 habitantes, tem-se um consumo diário de 21450 L, ou 21 m³.

O Cadastro de usuários mostrou que no momento da pesquisa a demanda de água para atividades produtivas estava concentrada na criação animal, seja diretamente na dessedentação, seja em atividades como a irrigação de capim para alimentar os animais. Assim, a quantificação da demanda aqui também será feita para a criação animal.

O consumo de água na dessedentação, em cada espécie, vai depender de um conjunto de variáveis, como a raça, a idade do animal, o peso, se lactante, da temperatura, etc. Na Tabela 10 estão explicitados os valores médios aqui adotados após consulta a literatura específica (PALHARES, 2013; ARAÚJO *et al.*, 2011).

Na Tabela 11 estão registrados os valores dos cálculos da demanda diária de acordo com as quantidades registradas no Cadastro de Usuários.

De acordo com Peden *et al.* (2007), a quantidade de água ingerida apresenta apenas 2% da água do total de água necessário para um animal. Levando isso em consideração, tem-se então um valor total de consumo de água diário na criação animal de 1.131.488 L, ou 1.131 m³.

Tabela 10 - Consumos médios diários de água por espécie animal.

Espécie	Consumo (L/dia)
Bovino	40
Galináceos	0,250
Suíno	8
Caprino e ovino	3
Equino	45

Fonte: O Autor (2018).

Somando o valor para a criação animal com o valor para consumo humano, chega-se a um consumo total diário de 1152 m³. Comparando este valor com a reserva estimada, o resultado é que a reserva pode suportar este consumo por 2,14 anos.

Tabela 11 - Demanda diária de água total por espécie animal de acordo com o cadastro.

Espécie	Consumo per capita (L/dia)	População	Consumo diário total (L)
Bovinos	40	422	16880
Suínos	8	22	176
Caprinos e Ovinos	3	760	2280
Galináceos	0,250	35	8,75
Equinos	45	73	3285
Total			22630

Fonte: O Autor (2018).

É importante ressaltar que todos os valores aqui obtidos se relacionam com um cenário onde o desenvolvimento de atividades de agricultura e pecuária está diminuído pela escassez de água provocada por uma seca prolongada. Também a condição de exploração da reserva está limitada pela disposição geográfica, profundidade e eficiência dos poços na captação da água.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Pelo seu volume, relativa facilidade de acesso e proteção natural a evaporação, a água armazenada na aluvião é o principal manancial de abastecimento de povoados rurais próximos a rios intermitentes do Semiárido brasileiro. A pesquisa mostrou que este é um manancial usado pela quase totalidade da população local, sendo também, para a imensa maioria, o que proporcionar a maior e mais regular oferta.

A população já tende a usar água de diferentes fontes de forma combinada. Isto a convicção de que o enfrentamento da escassez de água no semiárido não deve ter solução única, mas sim que bons resultados tendem a vir do uso combinado de alternativas.

Quem usa tecnologias de acumulação de água como barreiros e açudes tende a necessitar do uso de outras fontes para complementar o abastecimento, principalmente da água presente em aluvião.

A água armazenada nas cisternas é usada quase que exclusivamente para beber e cozinhar e esta é a fonte mais usada para estes fins. Por outro lado, a água da aluvião é a usada primordialmente nas atividades domésticas menos nobres, como banhos e limpeza da casa, e nas atividades agrícolas e pecuárias.

A cisterna calçadão ainda é uma tecnologia que carece de maior implementação na região, apesar de a população ter conhecimento da existência da tecnologia, desejo de usá-la e dispor de área para sua implantação.

No cenário de seca foi priorizado, em termos produtivos, a água para a criação animal. Isso ficou claro tanto no uso da água diretamente para dessedentação animal, como na irrigação quase exclusiva de capim para alimentar os animais.

Os sedimentos na região podem ser caracterizados como areias de médias a grossas, assim possuem uma porosidade alta, sendo então muito propícios para a acumulação de água.

Considerando comunidades difusas em áreas próximas a rios intermitentes, em se tratando da região semiárida, o potencial de acumulação de água faz das

aluviões um manancial que dificilmente pode ser igualado em termos de capacidade de abastecimento.

5.2 Recomendações

É necessária a realização de levantamentos também em época de maior pluviosidade, o que não foi possível nesta pesquisa, explicitando cenários com maior oferta d'água e, por isso, possivelmente, com mais atividades pecuárias e, principalmente, agrícolas sendo desenvolvidas.

É importante também a obtenção de dados mais exatos da quantidade de água utilizada para cada fim, possivelmente só adquirida a partir de medição direta em campo.

Além de relações entre a demanda de água e os volumes ofertados, é importante avançar nas análises de qualidade da água das aluviões em relação aos usos destinados.

Como forma de possível potencialização da oferta de água, é interessante que se analise os possíveis ganhos com a implementação de barragens subterrâneas, bem como na identificação dos locais mais propícios para o barramento.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7181 - Solo – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457: Solo – Amostras de solo - preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR6502 - Rochas e solos**. Rio de Janeiro, ABNT. 18p. 1995.

ALBUQUERQUE, J. P. T.; RÊGO, J. C. Estruturas de captação de aquíferos aluviais ocorrentes na região semi-árida do estado da Paraíba. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 6., 1990. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1990. p. 205-210.

ALMEIDA, T. A.; COSTA NETTO, M. N.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; BRANCO, A. M. Utilização de águas subterrâneas em aluviões no Agreste pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13., 2004, Cuiabá. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2004. 19 p.

ANA - Agência Nacional de Águas. Resolução ANA nº 126/2011 - **Estabelece diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos**. 2011.

ANA. Agência Nacional de Águas/Superintendência de Informações Hidrológicas - SIH. **Águas Subterrâneas**. Brasília: ANA, 2012, 85 p.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017 : relatório pleno**. Brasília: ANA, 2017. 169p.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. Resolução nº 01/2012 - **Institui os procedimentos para captação de água em mananciais sob o domínio do Estado de Pernambuco, em situação de emergência**. 2012.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima - Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/acum_mensal_old.php>. Acesso em: 15 jan. 2018.

ARAÚJO, G. G. L. de; VOLTOLINI, T. V.; TURCO, S. H. N.; PEREIRA, L. G. R. A água nos sistemas de produção de caprinos e ovinos. In: VOLTOLINI, T. V. (Org.). **Produção de caprinos e ovinos no Semiárido**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. p. 69-94.

ARAÚJO FILHO, P. F.; CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, A. V. Processo de evaporação no leito do rio seco. In: BRAGA, R. A. P. (Org.). **Águas de Areias**. Recife: Clã, 2016. p. 71-88.

BRAGA, R. A. P.; PAIVA, A. L. R.; ARAÚJO FILHO, P. F.; CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, A. V.; GUSMÃO, P. T. R.; CAVALCANTI, E. R.; FARIAS, C. R. O.; COSTA, W. D. A sustentabilidade hídrica do uso da água subterrânea frente a exploração de areias em leito de rios do semiárido brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 18., 2014, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2014. 15 p.

BRAGA, R. A. P.; FARIAS, C. R. O.; SILVA, S. R.; CAVALCANTI, E. R. **Gestão e educação socioambiental na bacia do Capibaribe**. Recife: Clã, 2015. 144 p.

BRAGA, R. A. P. (Org.). **Águas de Areias**. Recife: Clã, 2016.

BRASIL. Portaria Interministerial nº1, de 09 de março de 2005.

BRASIL, Agência Nacional de Águas. **Atlas Nordeste: abastecimento urbano de água: alternativas de oferta de água para as sedes municipais da Região Nordeste do Brasil e do Norte de Minas Gerais**. Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos hídricos; Consórcio Engecorps/Projetec/Geoambiente/Riverside Technology. Brasília: ANA, SPR, 80p. 2006.

BRANDT, M. A. C. Mapeamento da condutividade hidráulica da cobertura do aquífero Guarani, situado na bacia hidrográfica dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, na porção centro-norte do estado de São Paulo. 2010. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

BREDDIN, H. Die Grundribkarnten des Hydrogeologischen Kartenwekes der Wasserwirtschaftsverwaltung von Norgrhein-Westfalen. **Geologische Mitteilungen**, v. 2, n.4, p. 393-416, 1963

BURDINE, N.T. Relative permeability calculations from pore-size distribution data. **American Institute Mining and Metallurgy Engineering**, v. 198, p.71–77. 1953.

CABRAL, J. J. S. P.; PAIVA, A. L. R.; ARAÚJO FILHO, P. F.; VASCONCELOS, G. L. M. B.; SILVA, D. J; COUTINHO, A. P. Acumulação de sedimentos e água no leito seco dos rios no semiárido. In: BRAGA, R. A. P. (Org.). **Águas de Areias**. Recife: Clã, 2016. p. 39-70.

CAETANO, T. O. **Exploração da água da aluvião no alto rio Capibaribe**. 2015. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.

CAVALCANTI, G. I. F. N. **Caracterização hidrodinâmica de solos de unidades geoambientais de Pernambuco a partir da metodologia Beerkan**. 2012. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

CIRILO, J. A.; ABREU, G. H. F. G.; COSTA, M. R.; GOLDEMBERG, D.; COSTA, W. D.; BALTAR, A. M.; AZEVEDO, L. G. T. Soluções para o Suprimento de Água de Comunidades Rurais Difusas no Semi-Árido Brasileiro: Avaliação de Barragens Subterrâneas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, ABRH, v. 8, n. 4, p. 5-24, 2003.

CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22. n. 63, p. 61-82, 2008.

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

COSTA, W. D. Aquíferos aluviais como suporte agropecuário no Nordeste. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 3., 1984, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1984. p.431-441.

COSTA, W. D.; CIRILO, J. A.; ABREU, H. F. G. COSTA, M. R. Monitoramento das barragens subterrâneas no Estado de Pernambuco. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 5., 2000, Natal. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000.

CUSTODIO, E; LLAMAS, M.R. **Hidrologia subterrânea**. Barcelona: Ediciones Omega S.A, 1976.

DEMETRIO, J. G. A; FEITOSA, E. C.; SARAIVA, A. L. Aquíferos fissurais. In: CIRILO, J. A. (Org.) **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas**. Recife: ABRH - Editora Universitária UFPE, 2007. p. 105-132.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. 2. ed. New York: Macmillan Publishing, 1988.

G1. **Jucazinho, 3º maior reservatório de água de PE, está em colapso há um ano**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/jucazinho-3-maior-reservatorio-de-agua-de-pe-esta-em-colapso-ha-um-ano.ghtml>> Acesso em: 25 de fevereiro de 2018.

GOMES, H.P. **Engenharia de Irrigação**. 3. ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999.

GONZÁLEZ, L.; MARDONES, M.; SILVA, A.; CAMPOS, E. Hidrogeoquímica y comportamiento del agua subterránea en la cuenca del río Claro, Región del Biobío, Chile. **Ver. Geological of Chile**, v. 26, n. 2, 1999.

HAVERKAMP, R.; PARLANGE, J. Y.; CUENCA, R.; ROSS, P. J.; STEENHUIS, T. S. Scaling of the Richards equation and its application to watershed modeling. In: Sposito, G. (ed.). **Scale dependence and scale invariance in hydrology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998. p.190-223.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de Água para o Consumo Humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

LASSABATÈRE, L.; ANGULO-JARAMILLO, R.; SORIA, J.M.; CUENCA, R.; BRAUD, I.; HAVERKAMP, R. Beerkan Estimation of Soil Transfer parameters through infiltration experiments – BEST. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.70, p. 521-532, 2006.

LOPES, E. E.; NOGUEIRA, R. E. Proposta Metodológica para validação de imagens de alta resolução do Google Earth para produção de mapas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011.

MELO, T. A. T. **Jardim da chuva: sistema de biorretenção como técnica compensatória no manejo de águas pluviais urbanas**. 2011. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

MENEGATTO JUNIOR, E. A.; FERREIRA, M. C. Estimativa de largura de rios, a partir de imagens do Google Earth e mapas de hierarquia fluvial, para o mapeamento de Áreas de Preservação Permanente na alta bacia do rio Jaguari, MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. P. 1258-1265.

MESQUITA, M. DA G. B. DE F. **Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo**. 2001. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; FIQUEIREDO, A. C.; BASTOS, D. C. Influência de zonas de recarga e descarga na salinidade de vale aluvial de semi-árido. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13., 2004, Cuiabá. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2004. 16 p.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 30–37, 2006.

MOURA, M. S. B.; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. E. Clima e Água de Chuva no Semi-árido. In: EMPRAPA SEMIÁRIDO. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2007. p. 37-59.

NÚÑEZ, V. R, G. **Deslocamento de Óleo em um Meio Poroso Através de Injeção de Emulsões Óleo-em-Água: Análise de Fluxo Linear**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PAIVA, A. L. R.; CAETANO, T. O.; SILVA. D. J.; CABRAL, J. J. S. P.; BRAGA, R, A. P. Ocorrência e características construtivas de poços escavados em aluvião - trecho alto rio Capibaribe - PE. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12., 2014. Natal. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2014.

PAIVA, A. L. R.; CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, A. V.; CAETANO, T. O.; SILVA. D. J.; BRAGA, R, A. P. Evolução tecnológica de poços escavados em leito seco de rio no Semiárido. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 21., 2015, Brasília. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. 8p.

PALHARES, J. C. P. **Consumo de água na produção animal**. Comunicado Técnico 102. São Carlos: EMBRAPA. 2013.

PEDEN, D.; TADESSE, G.; MISRA, A. K. **Water and livestock form human development**. Disponível em: <<http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/Water%20for%20Food%20Water%20for%20Life/Chapters/Chapter%2013%20Livestock.pdf>>. Acesso em: 4 jan. 2018.

PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E., SIEVER, R. **Sand and Sandstone**. Springer-Verlag, New York, 553p. 1987.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. **Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do rio Capibaribe (PHA - Capibaribe)**. Recife, 2010.

POULSEN, T. G.; MOLDRUP, P.; YAMAGUCHI, T.; SCHJONNING, P.; HANSEN, J. A. Predicting soil-water and soil-air transport properties and their effects on soil vapor extraction efficiency. **Ground Water Monit. Remediation**, v.19, p.61-69, 1999a.

POULSEN, T. G.; MOLDRUP, P.; YAMAGUCHI, T.; JACOBSEN, O. H. Predicting saturated and unsaturated hydraulic conductivity in undisturbed soils from soil water characteristics. **Soil Science**, v.164, n.2, p.877-887, 1999b.

REBOUÇAS, A. C. Água na Região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 11, n. 29, p.127-54, 1997.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. 2006. Disponível em: <https://portais.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__text_o.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2018.

RIBEIRO, K. D.; NASCIMENTO, J. M. S. DO; GOMES, N.M.; LIMA L.A.; MENEZES, S.M. Relações Matemáticas entre Porosidade Drenável e Condutividade Hidráulica do Solo Saturado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.6, p.600-606. 2007.

RODRIGUES, F. B. **Caracterização Hidrogeológica de depósito aluvial do Riacho Boa Vista no Sítio Caiçara, Afogados da Ingazeira, PE**. 2012. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geociências) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SANTANA, A. C. A.. **Avaliação do gerenciamento da cisterna calçadão, enquanto tecnologia ambiental utilizada por família de agricultores no semiárido pernambucano**. 2015. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.

SANTOS, A. C.; NUNES, O. O.; FIGUEIREDO, M. L. F. A Percepção da População da Comunidade Torrões Sobre a Qualidade da Água dos Poços Amazonas. **Caminhos da Geografia**, v. 9, n. 28, p. 243-261, 2008.

SANTOS, J. **Cisterna Telhadão: Inovações para convivência com o Semiárido**, Recife: Centro Sabiá, 46 p. :il, Série: Conhecimentos nº 02, 2013.

SILVA, D. J. **Caracterização da aluvião no alto rio Capibaribe**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.

SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. ; CAETANO, T. O. ; SILVA, D. J. . Usos e usuários das águas de aluvião. In: BRAGA, R. A. P. (Org.). **Águas de Areias**. Recife: Clã, 2016. p. 123-158.

SIMÕES, M. Estimativa da condutividade hidráulica pela curva de distribuição granulométrica do aquífero Plio-Quaternário da Bacia do Baixo Tejo, em Belverde (Portugal). **Geociências**, SÃO PAULO, v.29, n.3, p. 375-387. 2010.

SOUZA, E. S. de. **Caracterização hidrodinâmica na escala local e da parcela agrícola de dois solos do estado da paraíba: variabilidade espacial e temporal, e meio homogêneo equivalente**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.

SOUZA, E. S. DE; ANTONINO, A. C. D.; ANGULO-JARAMILLO, R.; MACIEL NETTO, A. Caracterização hidrodinâmica de solos: Aplicação do método Beerkan. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.12, n.2, p.128-135. 2008.

VANZELA, L. S.; ANDRADE, M. C. N. **Manejo da Irrigação Via Solo**. 2014. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/lsvmanejoirrigacao.htm>>. Acesso em: 19 jan 2018

VASCONCELOS, G. L. M. B. **Caracterização hidrogeofísica de sedimentos típicos do leito seco do rio Capibaribe: Experimentação e Modelagem**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia e Geociências – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

WHO/UNICEF - World Health Organization / United Nations Children's Fund. **Global Water Supply and Sanitation Assessment**. 2000 Report WHO/UNICEF, USA, 80p., 2000).

APÊNDICE A - Cadastro dos Mananciais e Usos da Água no Alto Capibaribe

Formulário nº _____	Data: ____ / ____ / ____ Hora: ____ h ____ min	Trecho ☐ IA ☐ IB ☐ II ☐ III
Responsáveis pelo cadastro: _____ _____		

DADOS DO USUÁRIO			
Nome do entrevistado		☐ Consumidor ☐ Fornecedor	
Localidade		Nome da propriedade	
Endereço			
Município			
Email	DDD	Telefone	Celular
Número de pessoas residentes no(s) domicílio(s) : (que utilizam os mananciais)			
Coordenadas Geográficas (residência)			
Latitude:		Longitude:	
Há abastecimento da residência da rede pública? ☐ Sim ☐ Não		Há abastecimento de água por outros mananciais? ☐ Sim ☐ Não	

TIPOS DE USO DA ÁGUA (todos os mananciais)	
☐ Criação Animal	☐ Banho
☐ Pesca	☐ Beber e preparar alimentos
☐ Irrigação	☐ Lavagens (piso e roupa)
☐ Piscicultura	☐ Sanitário (descarga)
☐ Indústria	☐ Uso de terceiros

IDENTIFICAÇÃO DAS FONTES DE CAPTAÇÃO	
Tipo:	
☐ Rio ou riacho	☐ Cacimba (Poço escavado s/ revest.)
☐ Açude	☐ Cacimbão (Poço Amazonas c/ revest.)
☐ Barragem	☐ Poço tubular
☐ Barreiro	☐ Olho d'água (nascente)
☐ Tanque de pedra	

Registro de anos extremos (estiagem ou cheias)

MANANCIAL 1 – RIO OU RIACHO		
DADOS DO PONTO DE CAPTAÇÃO (preencher um formulário para cada ponto)		
Nome:		
Coordenadas Geográficas		
Latitude:	Longitude:	
Distância do ponto de captação ao ponto de consumo (estimativa):		
TIPOS DE USO DA ÁGUA (deste manancial)		
☐ Criação Animal	☐ Banho	
☐ Pesca	☐ Beber e preparar alimentos	
☐ Irrigação	☐ Lavagens (piso e roupa)	
☐ Piscicultura	☐ Sanitário (descarga)	
☐ Indústria	☐ Uso de terceiros	
DADOS DA VAZÃO DE CAPTAÇÃO (deste manancial)		
Vazão média (m ³ /dia)	Tempo (h/dia)	Período (dias/mês)
TIPOS DE CAPTAÇÃO		
Mecanizado:	Por bombeamento	
☐ Sim ☐ Não	Vazão (m ³ /d) _____	
Retirada manual	Potência da bombas em funcionamento	
☐ Sim ☐ Não	____HP ____HP ____HP ____HP ____HP	
Há quanto tempo o usuário utiliza o manancial?	Houve alteração da vazão captada?	
	☐ Sim ☐ Não	
	Por que?	
O manancial atende bem a demanda durante todo o ano ou há interferência da estação do ano (inverno/verão)?		

MANANCIAL 2 – BARRAGEM, AÇUDE ou BARREIRO		
DADOS DO PONTO DE CAPTAÇÃO (preencher um formulário para cada ponto)		
Nome:	Capacidade máxima de acumulação (m ³):	
Coordenadas Geográficas		
Latitude:	Longitude:	
Distância do ponto de captação ao ponto de consumo (estimativa):		
TIPOS DE USO DA ÁGUA (deste manancial)		
☐ Criação Animal ☐ Banho ☐ Pesca ☐ Beber e preparar alimentos ☐ Irrigação ☐ Lavagens (piso e roupa) ☐ Piscicultura ☐ Sanitário (descarga) ☐ Indústria ☐ Uso de terceiros		
DADOS DA VAZÃO DE CAPTAÇÃO (deste manancial)		
Vazão média (m ³ /dia)	Tempo (h/dia)	Período (dias/mês)
TIPOS DE CAPTAÇÃO		
Mecanizado: ☐ Sim ☐ Não Retirada manual ☐ Sim ☐ Não		Por bombeamento Vazão (m ³ /d) _____ Potência da bombas em funcionamento ___HP ___HP ___HP ___HP ___HP
Há quanto tempo o usuário utiliza o manancial?		Houve alteração da vazão captada?
O manancial atende bem a demanda durante todo o ano ou há interferência da estação do ano (inverno/verão)?		

MANANCIAL 3 – TANQUE DE PEDRA		
DADOS DO PONTO DE CAPTAÇÃO (preencher um formulário para cada ponto)		
Nome:	Tipo: ☐ Natural ☐ Com obras de ampliação	
Coordenadas Geográficas		
Latitude:	Longitude:	
Distância do ponto de captação ao ponto de consumo (estimativa):		
Tipo de tanque:		
☐ Coberto ☐ Aberto		
Origem da água do tanque de pedra:		
☐ Água de chuva		☐ Carro-pipa
☐ Poço		☐ Outros: _____
TIPOS DE USO DA ÁGUA (deste manancial)		
☐ Criação Animal		☐ Banho
☐ Pesca		☐ Beber e preparar alimentos
☐ Irrigação		☐ Lavagens (piso e roupa)
☐ Piscicultura		☐ Sanitário (descarga)
☐ Indústria		☐ Uso de terceiros
DADOS DA VAZÃO DE CAPTAÇÃO (deste manancial)		
Vazão média (m ³ /dia)	Tempo (h/dia)	Período (dias/mês)
TIPOS DE CAPTAÇÃO		
Mecanizado: ☐ Sim ☐ Não Retirada manual ☐ Sim ☐ Não		Por bombeamento Vazão (m ³ /d) _____ Potência da bombas em funcionamento ____HP ____HP ____HP ____HP ____HP
Há quanto tempo o usuário utiliza o manancial?		Houve alteração da vazão captada?
O manancial atende bem a demanda durante todo o ano ou há interferência da estação do ano (inverno/verão)?		

MANANCIAL 4 – ÁGUAS SUBTERRÂNEAS		
DADOS DO PONTO DE CAPTAÇÃO (preencher um formulário para cada ponto)		
Tipo construtivo do poço:		
☐ Cachimba (Poço escavado s/ revest.)	☐ Alvenaria de tijolo	
☐ Cachimbo (Poço escavado c/ revest.)	☐ Alvenaria de pedra	
☐ Poço Tubular	☐ Tubo de concreto	
	☐ Tubo de ferro	
☐ Coberto	☐ Outros	
☐ Aberto		
Localização:		
☐ No leito do rio	☐ Fora do leito do rio	
Coordenadas Geográficas		
Latitude:	Longitude:	
TIPOS DE USO DA ÁGUA (deste manancial)		
☐ Criação Animal	☐ Banho	
☐ Irrigação	☐ Beber e preparar alimentos	
☐ Indústria	☐ Lavagens (piso e roupa)	
☐ Uso de terceiros	☐ Sanitário (descarga)	
CARACTERÍSTICAS DO PONTO DE CAPTAÇÃO (dados medidos)		
Profundidade do poço/cachimba (m): _____		
Diâmetro do poço/cachimba (m): _____		
Profundidade do nível d'água (m): _____		
DADOS DA VAZÃO DE CAPTAÇÃO (deste manancial)		
Vazão média (m ³ /dia)	Tempo (h/dia)	Período (dias/mês)
TIPOS DE CAPTAÇÃO		
☐ Manual		
☐ Bomba sapo	☐ elétrica	☐ à combustível
☐ Bomba não-submersa	☐ elétrica	☐ à combustível
☐ Bomba injetora	☐ elétrica	☐ à combustível
☐ Cata-vento		
Potência da bombas em funcionamento ____HP ____HP ____HP ____HP ____HP		
Há quanto tempo o usuário utiliza o manancial?	Houve alteração da vazão captada?	
O manancial atende bem a demanda durante todo o ano ou há interferência da estação do ano (inverno/verão)?		

MANANCIAL 5 – NASCENTE (OLHO D'ÁGUA)		
DADOS DO PONTO DE CAPTAÇÃO (preencher um formulário para cada ponto)		
Nome:		
Há caixa de proteção no ponto de captação: ☐ Sim ☐ Não		
Coordenadas Geográficas Latitude: _____ Longitude: _____		
Distância do ponto de captação ao ponto de consumo (estimativa):		
TIPOS DE USO DA ÁGUA (deste manancial)		
☐ Criação Animal ☐ Banho ☐ Irrigação ☐ Beber e preparar alimentos ☐ Indústria ☐ Lavagens (piso e roupa) ☐ Uso de terceiros ☐ Sanitário (descarga)		
DADOS DA VAZÃO DE CAPTAÇÃO (deste manancial)		
Vazão média (m³/dia)	Tempo (h/dia)	Período (dias/mês)
TIPOS DE CAPTAÇÃO		
Mecanizado: ☐ Sim ☐ Não Retirada manual ☐ Sim ☐ Não	Por bombeamento Vazão (m³/d) _____ Potência da bombas em funcionamento ____HP ____HP ____HP ____HP ____HP	
Há quanto tempo o usuário utiliza o manancial?	Houve alteração da vazão captada?	
O manancial atende bem a demanda durante todo o ano ou há interferência da estação do ano (inverno/verão)?		

USOS PARA ABASTECIMENTO DE ÁGUAS/USUÁRIO FORNECEDOR				
Nome (sistema de abastecimento)				
Entidade operadora				
Data do início da operação				
Endereço local				CNPJ/CPF
Município			UF	Bairro/Distrito
CEP	DDD	Telefone	FAX	E-mail
Tipo de entidade ☐ Prefeitura ☐ COMPESA ☐ IPA ☐ Outros: _____				
Vazão diária (m ³ /dia)				
Distritos atendidos (nome)			População atendida atual	
Total				

USOS DA ÁGUA: IRRIGAÇÃO (dados do usuário em anos normais)															
Vazão:															
Potência do motor:															
Diâmetro do cano de saída:															
Nº de horas em que a bomba permanece ligada/dia										Nº de dias por semana					
Dados Gerais do sistema de irrigação															
Área total da propriedade (ha)															
Culturas Perenes/ Semiperenes/ Temporárias															
Cultura	Toneladas Produzidas	Método de Irrigação	Área (ha)	Meses do ano em que utiliza irrigação											
				J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Observações:															

CADASTRO PARA CRIAÇÃO DE ANIMAIS (dados do usuário em anos normais)			
Espécie animal	Nº de animais	Tipo de uso da água: Dessedentação e/ou limpeza	Tipo de criação: Intensiva/Extensiva

OUTROS USOS
Tipo de uso:
Estimativa de vazão:

USO DE ÁGUA DE CHUVA
Há cisterna para captação de água de chuva na propriedade? ☐ Sim ☐ Não (Nesse caso continue no próximo quadro, mais abaixo)
Capacidade da cisterna (m³) – (dado medido em campo): _____
Tipo de cisterna ☐ Coleta de água no telhado ☐ Calçada
A cisterna também recebe água de carro-pipa? ☐ Sim ☐ Não Caso positivo, há pagamento pela água do carro-pipa? ☐ Sim ☐ Não Qual a origem da água do carro-pipa? ☐ Prefeitura ☐ Exército ☐ Outros: _____
Para que é utilizada a água da cisterna na propriedade? ☐ Beber ☐ Lavar roupa ☐ Cozinhar ☐ Banho ☐ Outros
A água armazenada na cisterna atende a necessidade de água durante todo o período de estiagem, em todos os anos? ☐ Sim ☐ Não Qual o período crítico? _____ Repete-se anualmente? _____

CASO NÃO HAJA CISTERNA NA PROPRIEDADE (continue aqui)
Há interesse do usuário em implantar uma cisterna de captação de águas pluviais na propriedade? ☐ Sim ☐ Não
Há disponibilidade de área de captação de águas pluviais na propriedade? ☐ Sim ☐ Não Área estimada de telhado (m²): _____ Área estimada para calçada (m²): _____

FOTOS – identificar número dos arquivos digitais