

# COOPERAÇÃO INTERNACIONAL EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: DESENVOLVIMENTOS NO BRASIL, EM ANGOLA E EM PORTUGAL

José Luiz Albuquerque Filho<sup>1</sup>, João Paulo de Cármono Lobo Ferreira<sup>2</sup>, Mariana Kozlowski Caldo<sup>3</sup>, Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>4</sup>, Ana Maciel de Carvalho<sup>5</sup>, Inussa Baldé<sup>6</sup>

## RESUMO

Este trabalho busca demonstrar a proposta do Projeto CIAS (Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas) financiado pelo CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico no âmbito do Programa de Cooperação Temática em Matéria de Ciência e Tecnologia (ProÁfrica) e pela FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal, coordenados respectivamente, pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, e LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil e com a participação da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), DGRH (Direção Geral de Recursos Hídricos da Guiné-Bissau), UAN (Universidade Agostinho Neto de Angola) e INGR (Instituto Nacional de Gestão das Águas de Cabo Verde), além de outras instituições ou órgãos colaboradores.

O objetivo do projeto é a caracterização do quadro hidrogeológico atual e proposta de soluções para o problema da salinização em áreas costeiras; intercâmbio de conhecimento de metodologias; realização de eventos acerca da temática de interesse e transferência de tecnologias aplicadas no Brasil e em Portugal, assim como em Angola, para a Guiné-Bissau, na África.

Além desses objetivos, mais especificamente, será realizado um trabalho de aplicação do método GALDIT no país. Dessa forma, será possível determinar a vulnerabilidade do aquífero à intrusão da cunha salina e proposta de medidas mitigadoras.

## ABSTRACT

This paper describes the Project *Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas* (CIAS, funded by CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico under the Programa de Cooperação Temática em Matéria de Ciência e Tecnologia (ProÁfrica) and FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal, coordinated respectively by IPT – Instituto de

---

<sup>1</sup>Hidrogeólogo Pesquisador III Dr., Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, Av. Prof. Almeida Prado nº532, São Paulo, SP, CEP 05508-901. Tel.: (11) 37674362. Email: [albuzzelu@ipt.br](mailto:albuzzelu@ipt.br).<sup>2</sup>Investigador Engenheiro Dr., Laboratório Nacional de Engenharia Civil-LNEC, Departamento de Hidráulica e Ambiente-DHA, Núcleo de Águas Subterrâneas-NAS, Av. do Brasil nº 101, Lisboa, Portugal, CEP 1700-066. Tel: +351 21 844 3609. Email: [lferreira@lnec.pt](mailto:lferreira@lnec.pt).<sup>3</sup>Bolsista de Iniciação Tecnológica do IPT. E-mail: [macaldo@ipt.br](mailto:macaldo@ipt.br).<sup>4</sup>Professora Doutora, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Centro de Tecnologia e Geociências- CTG, Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, PE, CEP: 50670-901. Tel: (81) 2126 8709. Email: [suzanam@ufpe.br](mailto:suzanam@ufpe.br).<sup>5</sup>Geóloga, IPT. E-mail: [amaciel@ipt.br](mailto:amaciel@ipt.br).<sup>6</sup>Engenheiro Diretor, Direção Geral de Recursos Hídricos- DGRH, Ministério da Energia e dos Recursos Naturais – MERN da Guiné Bissau. Tel: +245 662 8179. Email: [inussa16@yahoo.fr](mailto:inussa16@yahoo.fr).

Pesquisas Tecnológicas, and LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil with the participation of UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), DGRH (Direção Geral de Recursos Hídricos da Guiné-Bissau), UAN (Universidade Agostinho Neto de Angola) and INGR (Instituto Nacional de Gestão das Águas de Cabo Verde), beyond other institutions employees.

The aim of this project is the conceptual characterization of sea-water intrusion in coastal aquifers, proposing solutions based in the partners know-how and world wide; events aiming the transfer of know-how on methodologies and technologies applied in Brazil and Portugal, will be held in two Portuguese speaking countries I Africa, namely Angola and Guinea-Bissau.

Beyond these objectives, more specifically, there will be an application of the GALDIT Method. In this way we hope to be able to assess the vulnerability of a Guinea-Bissau aquifer to salt water intrusion and proposing afterwards appropriate mitigation measures.

**PALAVRAS-CHAVE:** Guiné-Bissau; Águas Subterrâneas; Projeto CIAS.

## 1. INTRODUÇÃO

A água subterrânea como fonte de água doce, além de ser importante para a vida, contribui para o desenvolvimento de um país. Porém esta fonte pode ser escassa ou de má qualidade em alguns lugares.

Países como Guiné-Bissau possuem problemas de abastecimento de água e saneamento básico. A troca de informações e tecnologias com países mais desenvolvidos pode auxiliar na resolução de alguns problemas que o país enfrenta. Assim, são importantes projetos como a Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas (CIAS). Além do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), o projeto CIAS tem a participação da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), do LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal, que fica sediado na Capital do País (Lisboa), além de parceiros Africanos (Ministério dos Recursos Naturais e Ambiente da Guiné-Bissau, Universidade Agostinho Neto de Angola e o Instituto de Gestão das Águas de Cabo Verde).

O CIAS pretende formular, por meio das instituições envolvidas, estudos, diagnósticos e projetos a serem executados nas regiões de interesse na Guiné-Bissau, com recursos financeiros a ser obtidos no próprio país ou de fontes internacionais de financiamento. Dentre essas fontes podem ser citadas: Banco Mundial; CPLP – Comunidade dos Países de Língua Portuguesa; Comunidade Econômica Europeia (Programas Quadro) e Organização das Nações Unidas (por meio do PNUD – Programa das Nações Unidas Para o Desenvolvimento).

Nesse sentido, pautando-se no esforço de participação colaborativa, o LNEC buscou e obteve apoio financeiro na Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Portugal por meio do Processo 0607/19/17830-5 e constituiu a “Componente LNEC do Projeto CIAS”.

A Componente IPT do projeto CIAS é financiado pelo CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico no âmbito do Programa de Cooperação Temática em Matéria de Ciência e Tecnologia (ProÁfrica), por meio do Processo 490812/2007-4/690035/2007-1 e, dessa forma os recursos financeiros somente podem ser alocados em relação aos custos para execução das atividades das entidades brasileiras e africanas.

O objetivo desse projeto é promover cooperação entre as instituições de pesquisa voltadas para a indicação de soluções dos problemas relacionados com a gestão sustentável de águas subterrâneas, incluindo a quantificação dos recursos, o estudo da intrusão salina e a proteção das águas subterrâneas.

Efetou-se uma visita à Guiné-Bissau pela Componente Brasil (IPT) com a finalidade principal de conhecer um pouco do país e suas instituições que podem ser envolvidas na execução do projeto e, ao mesmo tempo, programar revisão de atividades para os meses que ainda se dispõem para o desenvolvimento do mesmo, que é até dezembro de 2010.

Já a *Componente LNEC* tem desenvolvido atividades de participação por meio da realização de missões da Equipe Portuguesa aos países Africanos (Angola, Guiné-Bissau), subsidiando a participação de Africanos (Angolanos) em reuniões de discussão e trocas de conhecimento em Lisboa de temas de interesse ao Projeto (caracterização da vulnerabilidade à poluição DRASTIC, Sistemas de Suporte à Decisão - DSS, prospecção geofísica e de Sistema de Informação Geográfica, dentre outros) e para a transferência de conhecimentos e tecnologia de interesse à aplicação de métodos de avaliação de vulnerabilidade à intrusão de cunhas salinas – Método GALDIT (Lobo Ferreira *et al.*, 2005).

## 2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do Projeto CIAS são os seguintes:

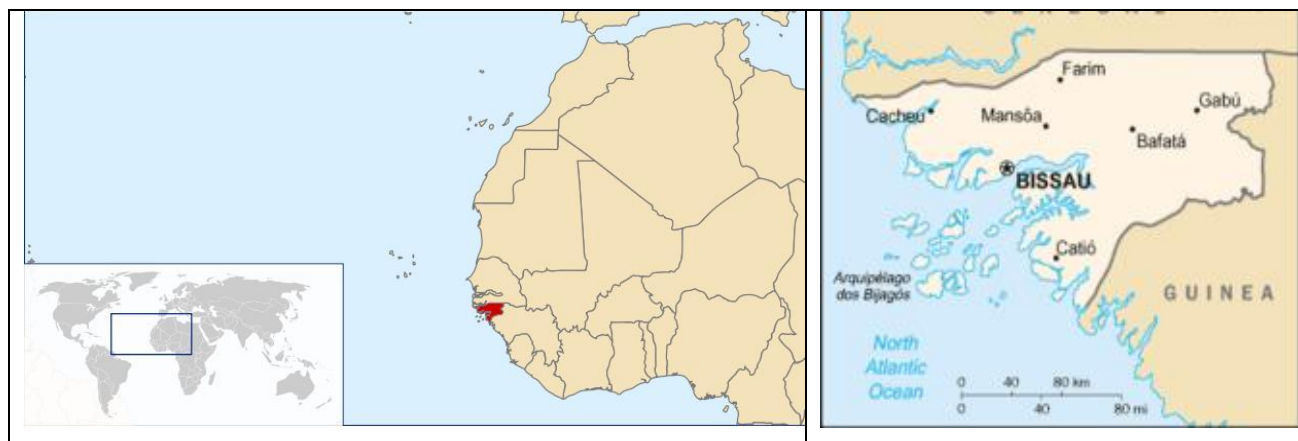
- ✓ Cooperação com a Guiné Bissau nos campos de conhecimento da hidrogeologia e suas áreas de apoio, com vistas à caracterização do quadro atual e busca de soluções a ser propostas para os problemas de salinização de poços de abastecimento em áreas costeiras ou outros problemas relacionados aos recursos hídricos subterrâneos;
- ✓ Realização de missões técnicas à Guiné Bissau, buscando viabilizar o intercâmbio de conhecimento de metodologias que possam ser aplicadas ao estudo de aquíferos costeiros;
- ✓ Realização de eventos (workshops, etc) acerca da temática de interesse à gestão das águas subterrâneas costeiras na Guiné Bissau; e
- ✓ Transferência de tecnologias atualmente aplicadas no Brasil e em Portugal e Angola as quais se destinem a soluções estruturais e não-estruturais nos casos de intrusões de cunhas salinas em aquíferos costeiros ou outros problemas vinculados aos recursos hídricos subterrâneos.

## 3. CARACTERÍSTICAS DO PAÍS

A República de Guiné-Bissau está localizada na costa oeste da África, limitada a norte pela República do Senegal e a sul e oeste pela República da Guiné - latitude entre 10°50' e 12°20'N e longitude 13°90' e 16° 43'W (Figura 1). Sua área total é 36 125 km<sup>2</sup>, divididos entre uma parte

continental e outra insular, com aproximadamente 88 ilhas. Guiné-Bissau é dividido em 9 regiões e 37 setores administrativos (GUINÉ-BISSAU, 2007).

Depois da sua independência só foram realizados dois recenseamentos, nos anos 1979 e 1991. Assim a população estimada para 2005 feita pelo Instituto Nacional de Estatística e Recenseamento é de 1.310.3007 habitantes.



Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Guin%C3%A9-Bissau>, acesso dia 26/04/2010

Figura 1. Mapa de localização de Guiné-Bissau em relação ao continente africano a direita, e país em detalhe a esquerda.

Guiné-Bissau possui clima tropical, com temperatura média em torno de 26° e pluviosidade anual variando entre 1200 e 2750 mm, aumentando de NE para SE. A umidade relativa do ar relaciona-se com os ventos predominantes no país. Durante a estação seca, o vento seco de nordeste apresenta baixos valores de umidade relativa, enquanto que na estação de chuvas há o predomínio de vento úmido de sudoeste, acompanhado de alta umidade relativa (GUINÉ-BISSAU, 1975).

Podem-se diferenciar três bacias hidrográficas principais, de norte a sul, quais sejam, Rio Cacheu (Rio Canjambari), Rio Geba e Rio Corubal.

Em relação à geomorfologia da Guiné-Bissau, Teixeira (1972), em “Os solos da Guiné Portuguesa” divide o país em quatro zonas principais: planícies costeiras (parte ocidental do país), planalto de Bafatá (centro), pene-planície de Gabu (norte e leste) e colinas de Boé (sudeste). Além de outras duas transitórias, zona e Oio e Ferrea.

Do ponto de vista pedológico, os solos são distribuídos de acordo com a topografia, embora as altitudes sejam muito pequenas. Assim, os solos vermelhos ocorrem nos cumes das elevações, em pequenos planaltos. À medida que se desce a vertente, ocorrem os solos alaranjados, pardos, pardo-amarelados, ou pardo-acinzentados claros, mais ou menos ricos em matéria orgânica. Nos declives mais pronunciados podem aflorar a couraça laterítica. E nas zonas baixas, predominam os solos acinzentados a negros (GUINÉ-BISSAU, 1979).

Em relação à cobertura vegetal é possível distinguir cinco agrupamentos fisionômicos: floresta hidrófila, floresta tropófila aberta, savanas secundárias dos terrenos elevados com árvores e arbustos, savanas clímaxes das terras baixas sem árvores nem arbustos e povoamentos aquáticos.

A geologia do território caracteriza-se basicamente em duas unidades, maciço antigo e bacia de subsidência Cenozóica. Guiné-Bissau ocupa uma zona de transição entre o maciço paleozóico do Futa-Djalón e o golfo cretáceo e terciário do Senegal. A linha de separação aumenta ondulação de NNE para SSW (Teixeira, 1962).

O maciço é formado por rochas eruptivas pré-cambrianas e grés (tipo de argila de granulação fina, plástica, sedimentar e refratária) e xistos de idade pré-cambriana e devoniana. A parte superior do maciço possui fraturas abertas até 80 m de profundidade que constituem sistemas aquíferos descontínuos. O maciço suporta ainda uma cobertura detrítica, alterítica e laterítica.

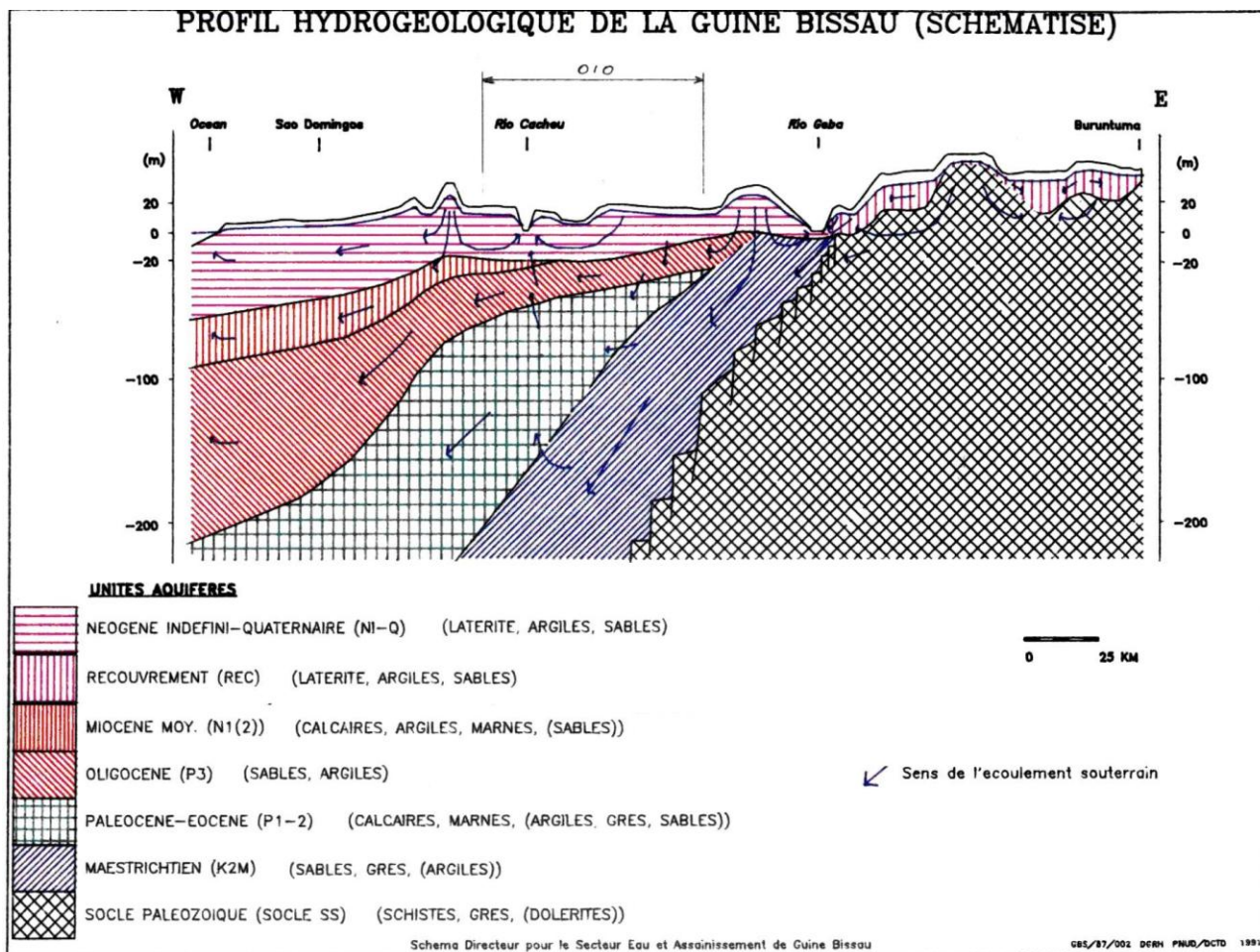
A bacia sedimentar constitui formações argilo-arenosas e gresosas, assim como terrenos marno-calcários de idade mesozóica a quaternária. A base das formações sedimentares é o maciço antigo. As formações da bacia compõem um complexo aquífero, constituído por Plio-quaternário, Mioceno, Oligoceno, Paleoceno-Eoceno e Maestriciano.

Os recursos de água subterrânea em Guiné-Bissau apresentam qualidades variáveis, sendo mais ou menos abundantes e estão relacionados com a geologia do país (GUINÉ-BISSAU, 1983).

Nas regiões do maciço as rochas eruptivas apresentam fraturas abertas até 80 m de profundidade, que constituem sistemas aquíferos descontínuos de extensão restrita. Já as formações da bacia sedimentar compõem um complexo aquífero, sendo o Maestriciano o manancial subterrâneo mais produtivo em termos de qualidade e quantidade (GUINÉ-BISSAU, 1991).

O grés do Maestriciano pode atingir 500 m de espessura em algumas localidades, variando em ordem crescente do continente para o litoral. O Paleoceno-Eoceno com espessura até 300 m inclui horizontes calcários com excelentes aquíferos. O Oligoceno atinge espessura máxima de 120 m, incluindo aquíferos arenosos, calcários e argilosos de boa qualidade. Os calcários da parte inferior e média do Mioceno apresentam igualmente bons aquíferos, porém limitados e descontínuos (Direção Geral dos Recursos Hídricos, 2010). Por fim, os aquíferos do Mioceno superior e do Plio-quaternário são dispersos entre rios e aquíferos de caráter mais contínuo nos aluviões e materiais dunares. As suas espessuras na parte continental são da ordem dos 15 m, crescendo em direção ao litoral.

Formações geológicas semi-permeáveis separam os diferentes horizontes aquíferos e suas características deixam indicações sobre a existência de comunicações verticais por drenagem.



Fonte: Schema Directeur pour Le Secteur Eau et Assainissement de Guine Bissau (1991)

Figura 2. Perfil hidrogeológico de Guiné-Bissau..

A infiltração das águas das chuvas ocorre onde aflora e sub-aflora o maciço e a bacia sedimentar. Os cursos de água constituem exutórios naturais importantes, por outro lado o Maestriciano e os outros aquíferos subjacentes são explorados por bombeamentos.

## 4. ATIVIDADES DO PROJETO

### 4.1 Componente Brasil:

O Projeto CIAS, por meio da participação do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) e UFPE (Universidade Federal de Pernambuco), prevê a realização das seguintes atividades:

a) *Reunião da equipe do Projeto para discussão das estratégias e detalhamento metodológico, de cronograma de execução e outros aspectos de interesse à incorporação aos trabalhos:* foi realizada nos dias 18 e 19 de março de 2010, por meio de missão de IPT à Guiné-Bissau e serão realizadas outras duas viagens ao país no decorrer de 2010;

*b) Visitas técnicas e discussões com instituições, órgãos, entidades, dentre outros tipos, que poderão participar direta ou indiretamente do Projeto:* na primeira visita técnica à Guiné-Bissau, foram contatadas e já levantados dados em alguns órgãos. Ressalta-se, entretanto, que na 2ª visita técnica, será efetuado, também, o 1º seminário (item h, a seguir) com o objetivo de promover interação da equipe do projeto com os órgãos, entidades, instituições, etc., que possam, dispor e disponibilizar dados e informações de interesse ao projeto;

*c) Pesquisa e revisão da bibliografia, para obtenção das informações disponíveis referentes ao conhecimento geológico, hidrogeológico, hidrogeoquímico, uso e ocupação do solo, disponibilidades e demandas de águas (superficiais e subterrâneas), dentre outros temas ambientais, socioeconômicos e de recursos hídricos de interesse;*

*d) Discussão e proposição de alternativas de utilização de Sistema de Informação Geográfica e Banco de Dados a serem adotados para sistematização, armazenamento, manipulação de dados e modelos de consultas dos dados e informações obtidas com o Projeto;*

*e) Definição de estudos e métodos para realização de trabalhos de campo destinados à elaboração de cadastro completo de usuários de recursos hídricos, particularmente aqueles usuários de águas subterrâneas de zonas com potenciais focos de intrusão da cunha salina ou outros problemas vinculados aos recursos hídricos subterrâneos:* o inventário de poços (pontos d'água – PDA) da Guiné-Bissau foi efetuado recentemente (maio a junho/2009), e segundo a Direção Geral de Recursos Hídricos da Guiné-Bissau (DGRH), representa cerca de 60% daqueles existentes;

*f) Definição de estudos e métodos para caracterização hidrogeoquímica de áreas de interesse com potenciais de focos de intrusão de cunha salina, prevendo-se campanhas de amostragem e análises laboratoriais físico-químicas, isotópicas e microbiológicas de água e determinações “in situ” da condutividade elétrica, o pH e a temperatura da água:* a DGRH selecionará e indicará áreas, que considera críticas para que sejam formulados estudos a ser futuramente desenvolvidos. Então, esta atividade será desenvolvida a partir da seleção das áreas pela DGRH e após discussões técnicas entre a equipe do projeto (IPT/UFPE/LNEC/Universidade Agostinho Neto) e as equipes de Guiné-Bissau (Coordenada pela DGRH), resultando na formulação de uma proposta de trabalho específica;



g) *Definição de metodologias e estudos geofísicos que possibilitem caracterizar geometria, distribuição espacial de estratos, estruturação primária e secundária e mapeamento da cunha salina: está sendo desenvolvido estudo geofísico para a DGRH, compreendendo as áreas de Cacheu, Oio, Quinara e Tombali (a ser executado por Empresa de Burkina Faso) e área de Bafatá/Gabu, Biombo e Ilhas Bijagós (a ser executado por Empresa do Senegal);*

h) *Formulação de projetos voltados para o campo das ações não-estruturais que busquem a conscientização da população em geral, órgãos responsáveis pelo abastecimento público, dentre outros, no sentido de diminuir a demanda por águas subterrâneas e, por conseguinte, contribuir para o não-avanço da cunha salina;*

i) *Formulação de estudos de concepção e modelagem matemática hidrogeológica computacional em áreas críticas, para subsidiar o gerenciamento dos conflitos pelo uso das águas subterrâneas e definição de soluções mitigadoras ou de outra natureza: essa atividade será desenvolvida a partir da discussão da equipe do projeto e equipes da Guiné-Bissau (Coordenadas pela DGRH). Pretende-se identificar áreas, regiões ou sistemas aquíferos que requeiram a modelagem matemática como ferramenta de gestão;*

j) *Formulação de estudos com utilização da ferramenta SIG para a elaboração de cartografia de vulnerabilidade e risco de avanços na intrusão da cunha salina (por exemplo: Método GALDIT, desenvolvido pelo LNEC – Portugal): essa atividade ficará sob a coordenação do LNEC, que está participando do projeto com subsídios do próprio LNEC e do FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Portugal); e*

k) *Realização de oficinas/seminários/workshops para caracterização do estado da arte acerca dos temas de intrusão de cunhas salinas em aquíferos costeiros, metodologias de avaliação de risco, tecnologias para mitigação e remediação do problema, gestão da demanda de recursos hídricos em regiões críticas, dentre outros.*

## **4.2 Componente Portugal**

Denomina-se dessa forma a participação relativamente ao LNEC no Projeto CIAS, para a qual estão previstas as seguintes atividades para a realização no ano de 2010.

a) *Atividades Acadêmicas*: defesa do Mestrado do Prof. Adriano Adão da Universidade Agostinho Neto;

b) *Preparação de Projeto para concorrer no 7º Programa-Quadro da UE*;

c) *Ampliação da atuação LNEC/Universidade Agostinho Neto para a Guiné-Bissau*:

c.1) Levar experiência adquirida em Angola para a Guiné-Bissau, desenvolvendo metodologias para:

- ✓ avaliação de recursos hídricos subterrâneos de regiões insulares (Bijagós ou Bissau – Guiné Bissau);
- ✓ avaliação de recursos hídricos subterrâneos de zonas costeiras (ampliar conhecimento em Angola e daí, para Guiné Bissau).

c.2) Participação em Workshops em Guiné-Bissau para transferência de tecnologias já desenvolvidas e identificação de lacunas conhecimentos e estudos a ser desenvolvidos (com a participação de recursos financeiros do CIAS-Componente Brasil); e

d) *Desenvolvimento de um estágio no LNEC*: será desenvolvido por parte de um Bolsista da Universidade Federal de Pernambuco com o programa de Trabalhos que se apresenta em seguida.

d.1) Resultados esperados para a Bolsa no LNEC

Espera-se que ao final do estágio consiga-se:

- ✓ Modelar a intrusão salina, para um caso real, bidimensional e transiente, no modelo matemático estudado.
- ✓ Avaliar o sistema estudado e aplicar a análise de sensibilidade adjunta.
- ✓ Utilizar os resultados obtidos para o desenvolvimento da tese de doutorado.
- ✓ Artigos e publicações em revistas.

d.2) Cronograma da Bolsa no LNEC

O desenvolvimento da pesquisa será detalhado por meio de atividades de trabalho quinzenal.

- ✓ Primeira quinzena: Levantamento bibliográfico. Elaboração de modelo conceitual: intrusão salina no caso da Guiné-Bissau.
- ✓ Segunda quinzena: Levantamento bibliográfico. Elaboração de modelo conceitual: intrusão salina no caso da Guiné-Bissau.
- ✓ Terceira quinzena: Iniciação de modelagem matemática bidimensional com MODFLOW/FEFLOW no caso da Guiné-Bissau.
- ✓ Quarta quinzena: Modelagem matemática bidimensional com MODFLOW/FEFLOW no caso da Guiné-Bissau. Abordagem de cunha salina.

- ✓ Quinta e sexta quinzenas: Conclusão da calibração do modelo matemático bidimensional com MODFLOW/FEFLOW no caso da Guiné-Bissau. Análise de sensibilidade e aplicação de métodos estatísticos. Análise de sensibilidade e aplicação de métodos estatísticos. Conclusão do estudo de caso da Guiné-Bissau. Elaboração de Artigo.
- ✓ Sétima quinzena: Elaboração de Artigo. Discussão do modelo conceitual no caso do Pernambuco.
- ✓ Oitava quinzena: Abordagem da modelagem matemática bidimensional com MODFLOW/FEFLOW, no caso do Pernambuco.

#### 4.2.1 Método GALDIT

A intrusão salina em aquíferos costeiros prejudica a qualidade da água subterrânea. Esse fato é intensificado principalmente pela superexploração de aquíferos, próximos da costa, por meio de bombeamento excessivo e a captação de água em profundidades inadequadas. Guiné-Bissau apresenta problemas com relação ao avanço da cunha salina ao continente. Dessa forma é necessário um estudo mais detalhado da vulnerabilidade dos aquíferos para que medidas mitigadoras sejam tomadas.

Dentre as atividades previstas no Projeto CIAS se insere a definição de estudos e métodos para caracterização hidrogeoquímica de áreas de interesse com potenciais de focos de intrusão de cunha salina.

Uma ferramenta para o controle de intrusões salinas é a aplicação do Método GALDIT, que tem como resultado um valor que representa a vulnerabilidade do aquífero.

Fatores importantes que controlam a intrusão marinha em aquíferos costeiros são: ocorrência de águas subterrâneas (tipo do aquífero: não confinado, confinado ou semi-confinado); condutividade hidráulica do aquífero, nível piezométrico (acima do nível do mar); distância à linha de costa; impacto da existência de fenômenos de intrusão marinha na área; e espessura da camada do aquífero em estudo (Lobo Ferreira *et al.*, 2005). O Método GALDIT consiste em calcular um índice a partir desses parâmetros e pela atribuição de valores como ponderadores (Tabela 1). Método desenvolvido por Lobo Ferreira *et al.*(2005).

Tabela 1. Parâmetros do Método GALDIT e respectivos coeficientes de ponderação.

<b>Parâmetro GALDIT</b>	<b>Valor do Coeficiente de Ponderação</b>
G – Ocorrência de aquíferos	1
A – Condutividade hidráulica	3
L – Nível piezométrico	4
D – Distância à linha de costa	4
I – Impacto do estado atual da intrusão marinha na região	1
T – Espessura do aquífero	2

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira (2005).

A Ocorrência de Aquíferos (G) refere-se ao tipo de aquífero, confinado, livre, semi-confinado ou limitado. Em condições naturais, os aquíferos livres são mais suscetíveis à intrusão marinha do que os aquíferos confinados, uma vez que estes possuem a proteção de uma carga hidráulica superior à pressão atmosférica. Contudo, quando não há exploração, o aquífero confinado torna-se de todos o mais vulnerável. Os aquíferos semi-confinados são menos suscetíveis uma vez que não possuem uma carga hidráulica superior à que existiria num aquífero livre, como também podem manter ao longo do tempo pelo menos uma parte dessa carga através da drenância a partir dos aquíferos circundantes. Os aquíferos separados do mar por uma barreira impermeável (limitados) são os mais protegidos da intrusão salina. A Tabela 2 mostra o valor do índice atribuído por tipo de aquífero (Lobo Ferreira *et al*, 2005).

Tabela 2. Parâmetro G – Ocorrência de aquíferos.

<b>Ocorrência de Aquíferos</b>	<b>Valor do Índice</b>
Aquífero Confinado	10
Aquífero Livre	7,5
Aquífero Semi-confinado	5
Aquífero Limitado	2,5

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira (2005).

A Condutividade Hidráulica (A) é usada para medir a velocidade do fluxo de água no aquífero, para o mar. Depende da porosidade e do fraturamento da rocha. Quanto mais elevado seu valor maior será o avanço da cunha salina (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetro A – Condutividade hidráulica.

<b>Condutividade Hidráulica</b>	<b>Intervalo (m/d)</b>	<b>Valor do Índice</b>
Elevada	>40	10
Média	10-40	7,5
Baixa	5-10	5
Muito Baixa	<5	2,5

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira (2005).

O Nível piezométrico (L) refere-se ao nível de água subterrânea medido acima do nível do mar, sendo importante por determinar a carga hidráulica que faz recuar o avanço da cunha salina (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetro L – Nível piezométrico.

<b>Nível piezométrico</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Valor do Índice</b>
Elevada	<1	10
Média	1-1,5	7,5
Baixa	1,5-2	5
Muito Baixa	>2	2,5

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira (2005).

O impacto da intrusão salina diminui com o aumento da distância na perpendicular à linha de costa (Parâmetro D). Os valores estão representados na Tabela 5.

Tabela 5. Parâmetro D – Distância à linha de Costa.

<b>Distância à Linha de Costa</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Valor do Índice</b>
Muito perto	<500	10
Perto	500-750	7,5
Meia distância	750-1000	5
Longe	<1000	2,5

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira (2005).

O desequilíbrio que pode existir entre a água do mar e a água doce, por alteração do equilíbrio hidráulico em condições naturais, é representado pelo parâmetro: impacto do estado atual da intrusão marinha na região (I). Chachadi e Lobo Ferreira (2001) indicam a utilização da razão  $Cl / [HCO_3^- + CO_3^{2-}]$  como critério de avaliação da intrusão salina (Tabela 6).

Tabela 6. Parâmetro I – Impacto do Estado Atual da Intrusão Marinha na Região.

<b>Impacto do Estado Atual da Intrusão Marinha na Região</b>	<b>Relação <math>Cl/[HCO_3^- + CO_3^{2-}]</math> em epm na água doce</b>	<b>Valor do Índice</b>
Alta	>2	10
Média	1,5-2	7,5
Baixa	1-1,5	5
Muito Baixa	<1	2,5

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira (2005).

Por fim, a espessura do aquífero é importante para o controle da intrusão salina, ou seja, quanto maior a espessura, maior a extensão da intrusão (Tabela 7).

Tabela 7. Parâmetro T – Espessura do aquífero.

<b>Espessura do Aquífero</b>	<b>Intervalo (m)</b>	<b>Valor do Índice</b>
Grande	>10	10
Média	7,5-10	7,5
Pequena	5-7,5	5
Muito Pequena	<5	2,5

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira (2005).

Conhecido o valor de cada parâmetro, o índice GALDIT é calculado por meio da equação 1 (Chachadi & Lobo Ferreira, 2007).

$$\text{Índice GALDIT} = (1 \cdot G + 3 \cdot A + 4 \cdot L + 4 \cdot D + 1 \cdot I + 2 \cdot T) / 15 \quad (1)$$

O valor final representa a vulnerabilidade à intrusão marinha do sistema aquífero costeiro em estudo (Tabela 8). Este valor serve de subsídio para a tomada de decisões e aplicação de ações mitigadoras.

Tabela 8. Valor do índice GALDIT e sua classe de vulnerabilidade.

<b>Classes de Vulnerabilidade</b>	<b>Índice GALDIT</b>
Elevada	$\geq 7,5$
Moderada	5 – 7,5
Baixa	$\leq 5$

Fonte: Chachadi & Lobo Ferreira (2005).

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com o objetivo de formular projetos e diagnósticos para a Guiné-Bissau, o Projeto de Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas (CIAS) pretende estudar a hidrogeologia, identificar demandas tecnológicas por estudos e projetos hidrogeológicos para o país e aplicar o Método GALDIT para análise da vulnerabilidade dos aquíferos locais.

Estudos aplicados na vulnerabilidade de aquíferos são importantes para garantir a qualidade da água subterrânea, que em países como a Guiné são essenciais para contribuir em questões de saúde e saneamento básico.

O Método GALDIT tem se mostrado bastante promissor em relação a uma resposta clara do avanço da intrusão marinha ao continente. A sua escolha é baseada na aplicação simples do método, que consiste em calcular um índice a partir de parâmetros e atribuir a eles ponderadores.

A partir da classe de vulnerabilidade resultante da aplicação do método poderão ser adotadas medidas mitigadoras em relação à intrusão salina nos aquíferos e melhorar as condições da qualidade da água em países que se utilizam de águas subterrâneas para o abastecimento em regiões costeiras, tal como é o caso da Guiné-Bissau.

## **6. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo financiamento ao Projeto CIAS (Cooperação Internacional em Águas Subterrâneas) - Componente Brasil, por intermédio do ProÁfrica – Programa de Cooperação Temática em Matéria de Ciência e Tecnologia, Processo 490812/2007-4/690035/2007-1, que subsidia a equipe brasileira (IPT e UFPE) e africana (Guiné-Bissau, Cabo Verde e Angola).

Agradecem, também, à FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia de Portugal pelo apoio ao projeto CIAS – Componente Portugal, processo 0607/19/17830-5, que financia a equipe do LNEC.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LOBO FERREIRA, J.P.; CHACHADI, A.G.; DIAMANTINO, C.; HENRIQUES, M.J. 2005. Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT method: Part 1 – Application to the Portuguese Aquifer of Monte Gordo. The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources. Portugal.

CHACHADI, A.G. & LOBO FERREIRA, J.P. 2005. Assessing aquifer vulnerability to seawater intrusion using GALDIT method: Part 2 – GALDIT Indicators Description. The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources. Portugal.

Direção Geral dos Recursos Hídricos (DGRH) - Ministério da Energia e dos Recursos Naturais. (MERN) da Guiné-Bissau. 2010. Documento. NOTA CONCEPTUAL TECNICA sobre as possibilidades da cooperação com a Guiné-Bissau no domínio das águas subterrâneas e intrusão salina no âmbito da CPLP. Documento Avulso.

1.GUINÉ-BISSAU. 1979. Comissariado de Estado do Desenvolvimento Rural. Plano de Desenvolvimento do Vale do Geba.

2.GUINÉ-BISSAU. 1975. Projecto de Indústria Açucareira. Estudo de Identificação.

3.GUINÉ-BISSAU. 1991. Schema Directeur pour Le Secteur Eau et Assainissement de Guine Bissau.

GUINÉ-BISSAU. 1983. Relatório Rascunho da Guiné-Bissau – Revisão do Sector Agrícola – Programa Cooperativo FAO/Banco Mundial – Centro de Investimento – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. Documento Avulso. Acervo do NAS (Núcleo de Águas Subterrâneas) do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil).

4.GUINÉE-BISSAU. 2007. Elaboration de La Politique Regionale de l'eau pour l'Afrique Occidentale /Communaute Economique des Etats de L'Afrique de L'Ouest .

TEIXEIRA, A.J.S. 1962. Os Solos da Guiné Portuguesa – Carta Geral, Características, Formação e Utilização. Lisboa. 397p.

TERCEIRO, P.; LOBO-FERREIRA, J.P.; LUÍS MIGUEL, G.; ADÃO, A. 2009. “Avaliação da vulnerabilidade à intrusão marinha do aquífero costeiro Quelo-Luanda usando o método GALDIT.” Comunicação apresentada no 9.º SILUSBA - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, 28 a 30 de Outubro. Benguela, Angola.