

Universidade Montpellier 2  
A. COUDRAIN  
JY JAMIN

COTUTELA

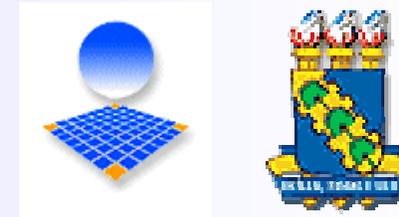


Universidade Federal do CEARA  
H. FRISCHKORN

**OS PEQUENOS AQUIFEROS ALUVIAIS NAS  
ÁREAS CRISTALINAS SEMI-ÁRIDAS:  
FUNCIONAMENTO E ESTRATÉGIAS DE GESTÃO.**

**Estudo de caso no Nordeste brasileiro**

- Quadro institucional : Co-tutela **UFC – UM2**



- Equipes de pesquisa:

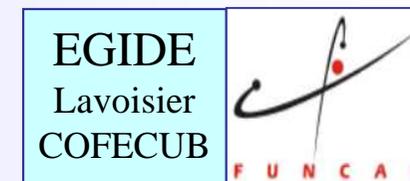
**UFC DEHA**

**IRD UR GREATICE e CIRAD UMR G-EAU**



- Acordo de cooperação bilateral CAPES-COFECUB n° 474-04

- Bolsas do programa Lavoisier (EGIDE - FRANÇA)  
e da FUNCAP (FUNCEME-BRASIL)



- Apoio financeiro às atividades da tese:

**CIRAD UMR-G-EAU, UR GREATICE, FUNCEME, IFR ILEE**



## Conforme os requisitos do convênio de cotutela



Durante o doutorado, diferentes disciplinas foram cursadas (na UFC e na UM2) somando cerca de 480 h de aula.

Pendant la thèse, différents modules ont été suivis correspondant à environ 480 h de cours.

**PARTE 1:** apresentação em português 30 min

**PARTE 2:** apresentação em francês 20 min

**PARTIE 1 – Apresentação em português – 30 min**

Introdução

I – Objetivos

II – Dados e métodos

III – Resultados

Foco na simulação do impacto de cenários

Conclusão

**Contexto global:** pressão crescente sobre os recursos hídricos.

**Regiões semi-áridas:** desafio particularmente importante: recursos mais escassas, evaporação elevada das águas superficiais, recursos hídricos subterrâneos limitados (nas zonas de embasamento cristalino pouco fraturadas).

### ↳ Pequenos aquíferos aluviais

- evaporação limitada, acesso fácil, grande dispersão geográfica
- recursos importantes no meio rural para
  - a manutenção das populações
  - um desenvolvimento sustentável

ex: na África (*Lavigne Delville, 1998*)
- recursos frágeis fortemente sensíveis às ações antrópicas  
(volume limitado, susceptibilidade às poluições, usos múltiplos)  
→ **Abordagem multidisciplinar** (físico, social)
- poucos estudos sobre o potencial de exploração e a gestão destes mananciais.

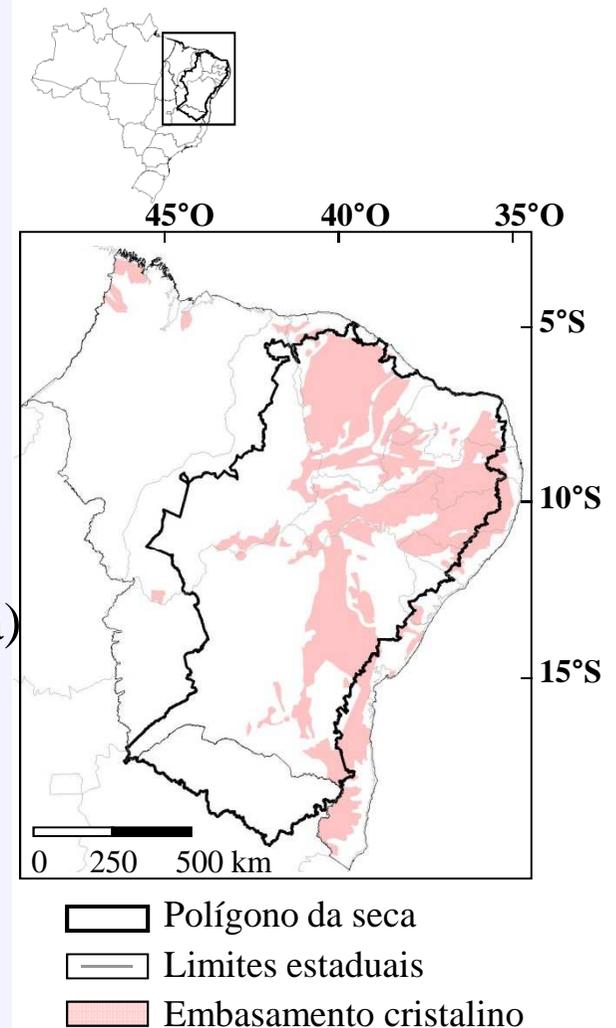
**Nordeste brasileiro, grande região semi-árida**  
 (divisão administrativa “Polígono da seca”  
 ~ 950 000 km<sup>2</sup>) (Fig.), **área de embasamento cristalino**

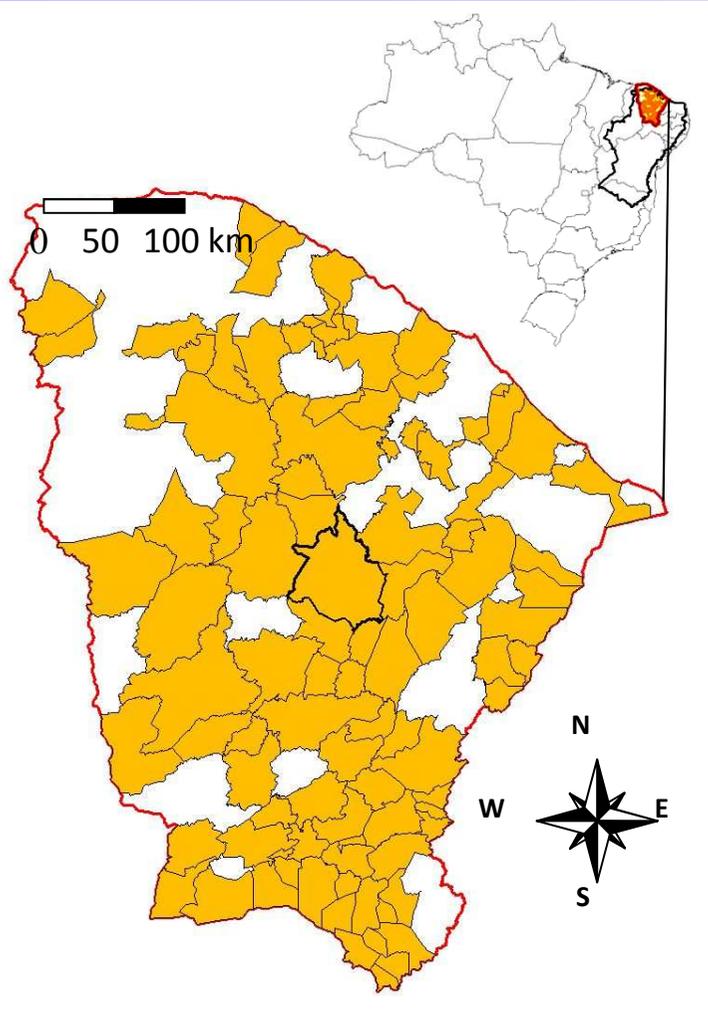
**Déficit hídrico anual elevado (> 1000 mm)**

**Irregularidade das precipitações**

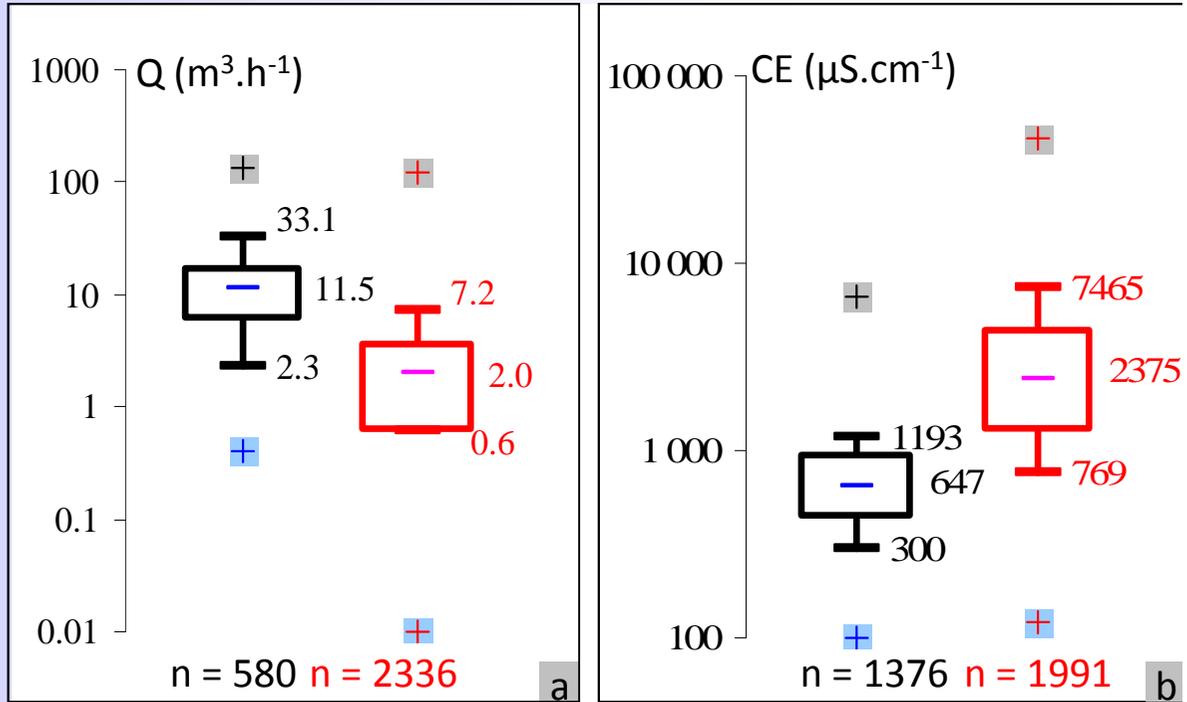
**Recursos hídricos limitados**

- superficiais ← evaporação elevada
- subterrâneas
  - aquífero de cristalino (vazão baixa, salinidade elevada)
  - pequenos aquíferos aluviais :
    - iniciativas recentes: desenvolvimento da sua exploração
    - conhecimentos insuficientes (funcionamento hidrológico e potencial de exploração )
    - pouco explorados (apesar de vazão elevada e salinidade baixa)





- Estado do Ceará
- 86 Municípios participantes do programa de perfuração de poços tubulares manuais (período 2001-2004) (dados SEAGRI)



— Poços rasos nos aluviões (Profundidade média: 8 m)  
 Dados SEAGRI (2004)

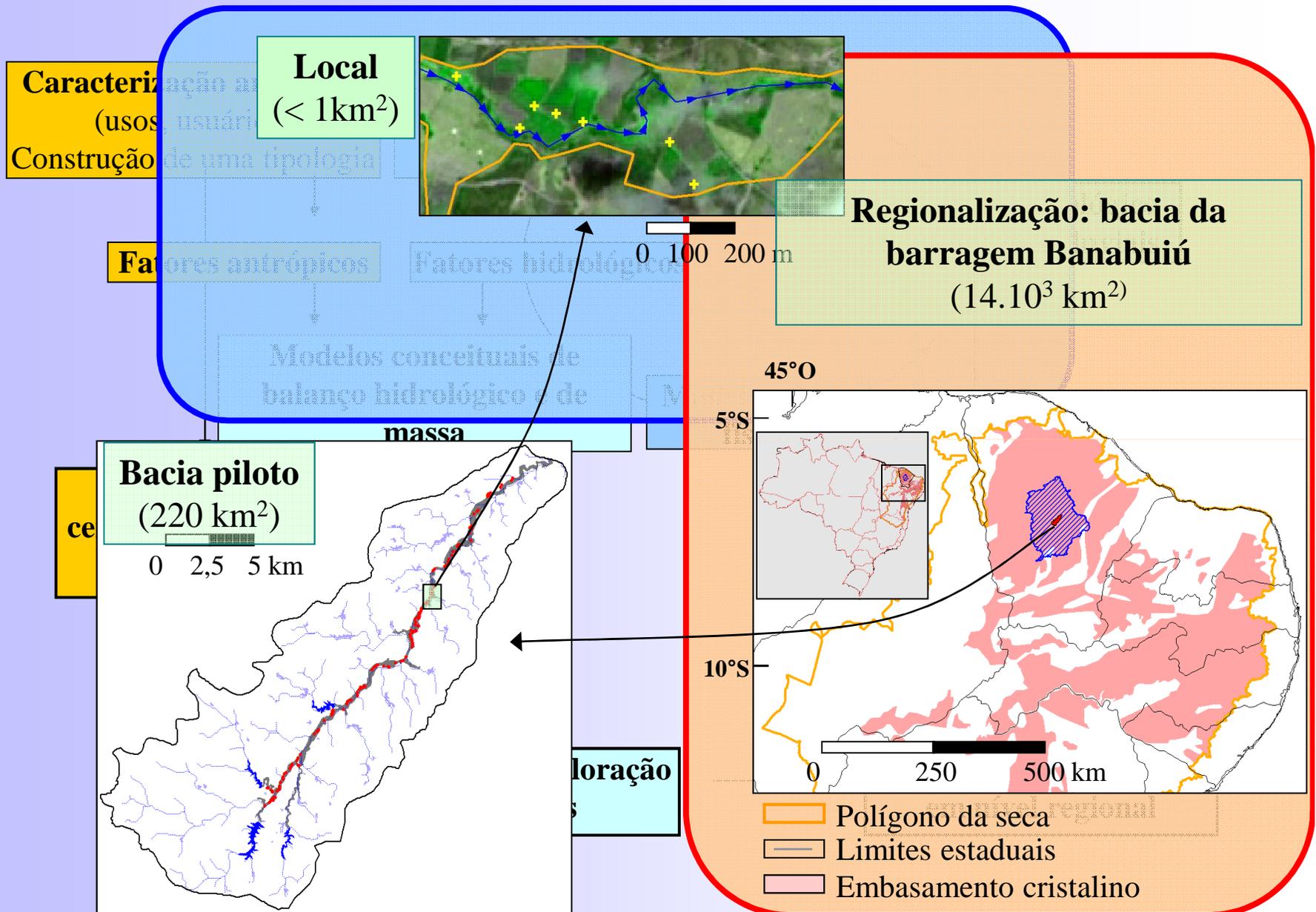
— Poços profundos no cristalino (Profundidade média: 60 m)  
 Dados CPRM (2001)

**Objetivo geral :**

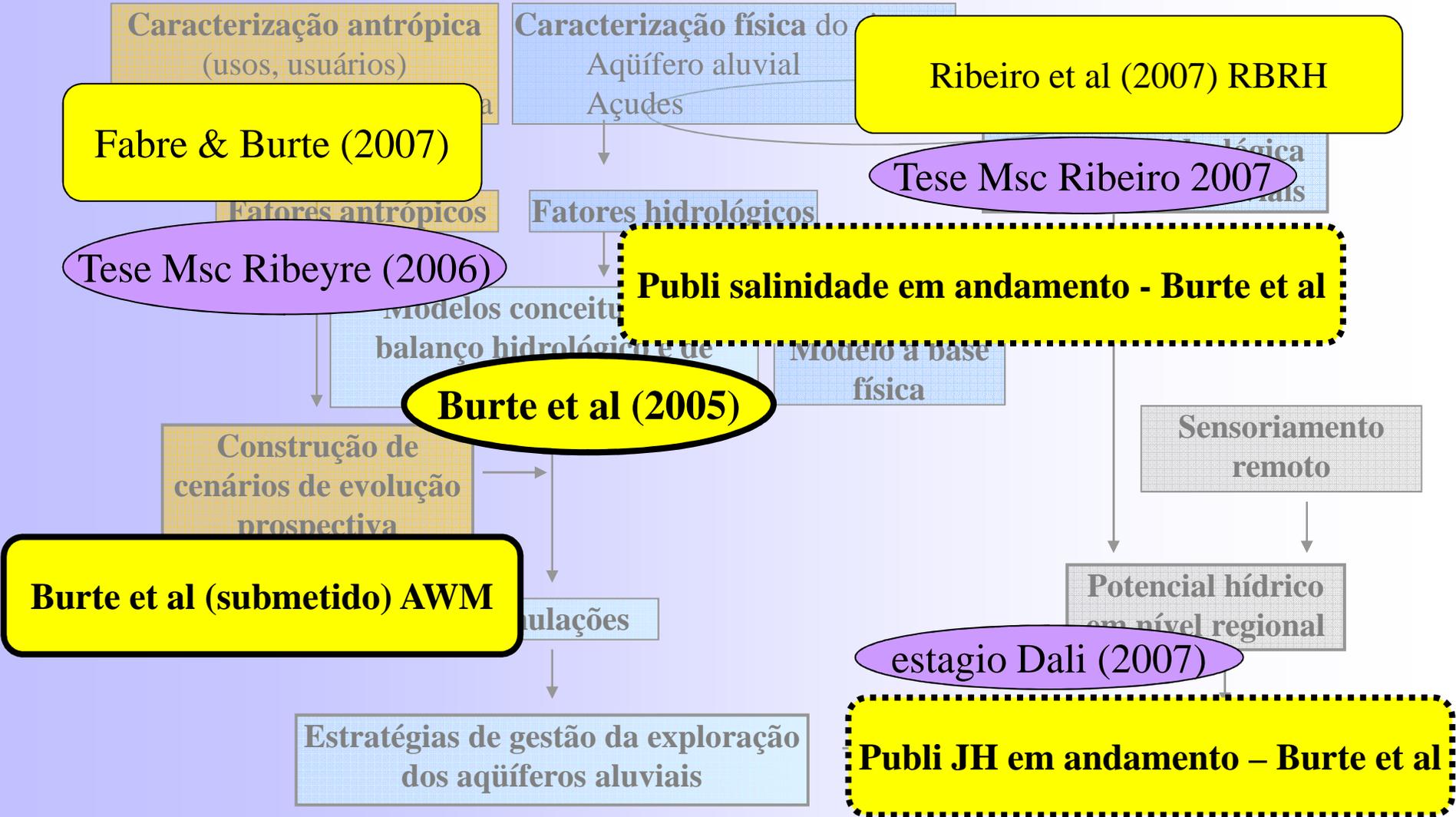
Desenvolver uma metodologia de caracterização do sistema 'aqüífero aluvial' no Nordeste cristalino semi-árido e simular a evolução da disponibilidade hídrica para usos múltiplos em cima de cenários realísticos dos pontos de vista físicos e socioeconômicos.

**Objetivos específicos :**

- Compreensão do funcionamento hidrológico deste tipo de aquífero, para fornecer aos órgãos gestores bases necessárias a uma exploração racional.
- Desenvolvimento de ferramentas de simulação (modelos de previsão simples), para simular o impacto de modos de exploração e de gestão.
- Definição de estratégias de gestão coletiva, adaptadas às limitações físicas, aos objetivos econômicos dos atores e às estruturas sociopolíticas locais.
- Desenvolvimento de uma metodologia para estimar o potencial hídrico dos pequenos aquíferos aluviais em escala regional.
- Elaboração de metodologias de monitoramento e avaliação dos riscos ligados à superexploração à curto prazo, de um recurso hidrogeológico.



# PUBLICAÇÕES E ORIENTAÇÕES



### Caracterização do meio físico

- monitoramento dois principais RH na bacia piloto (H, CE, análises)
- Estudos pontuais no tempo (caracterização dos RH, liberações de água) e no espaço (áreas piloto)

### Caracterização dos usos e usuários

**Etapa 1:** construção de uma primeira tipologia (usuários, usos, percepção dos RH, critérios de uso, formas de gestão)

Entrevistas e questionários semi-diretivos (2005)

Comparação com os dados de 1998 (*Burte, 1998*)

**Etapa 2:** detalhamento desta tipologia

estudos qualitativos e quantitativos, questionários e grades de análise

### III - 1. A bacia do Forquilha

- 221 km<sup>2</sup> de área
- 17 comunidades de agricultores familiares
- cristalino, solos rasos

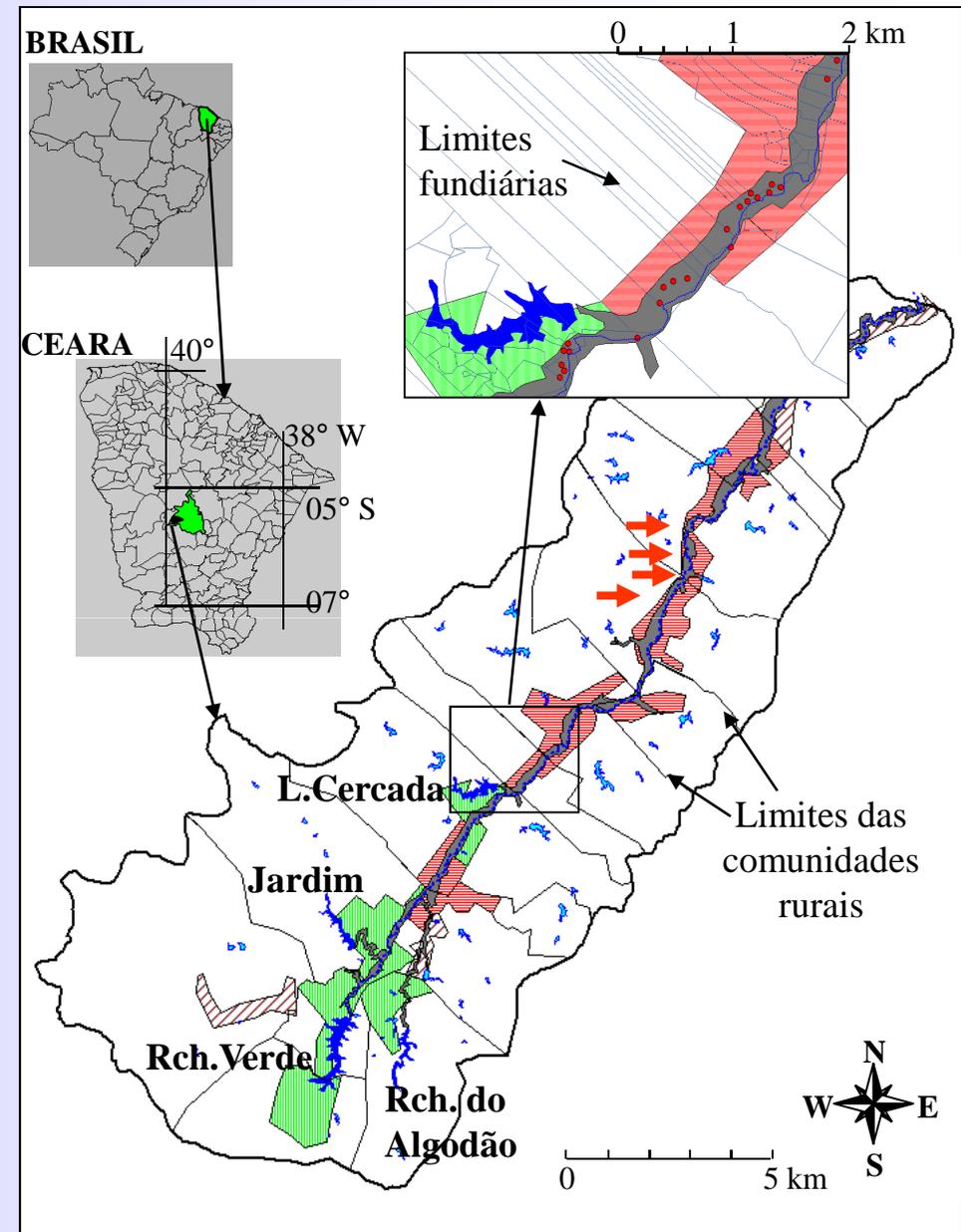
#### Os recursos hídricos e os principais usos

-  4 açudes de capacidade plurianual (1 a 7.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)
-  69 açudes de capacidade sazonal
-  Aquífero aluvial (2.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)
-  Principais áreas irrigadas (a partir do aquífero)

Sistemas de abastecimento doméstico de diferentes áreas		Densidade populacional
	A partir dos reservatórios	130 hab/km <sup>2</sup>
	A partir do aquífero aluvial	
	Sem sistema	
	Sem sistema	0,3 hab/km <sup>2</sup>

#### O aquífero aluvial

- recurso estratégico tradicional na seca
- uso recente
- superexploração local desde 2001 (irrigação = 95% dos volumes bombeados)



*Burte, J., A. Coudrain, et al. (2005). "Human impacts on components of hydrological balance in an alluvial aquifer in the semiarid Northeast, Brazil." Hydrological Sciences Journal 50(1): 95-110.*

- **Dinâmica hidrológica sazonal**
- **Recarga a partir do leito do rio**
- **Capacidade de recarga elevada** (recarga assegurada em 9 de 10 anos)

Simulações: comparação  $V_{\text{aqüífero}} (10^6\text{m}^3) = 2,3$

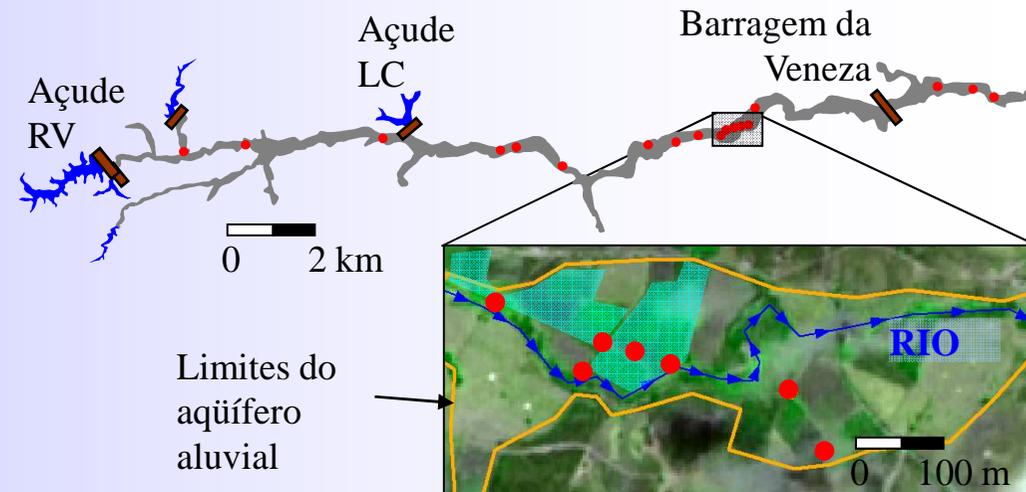
com  $V_{\text{escoado simulado}} (10^6\text{m}^3) = 6,2 (2001); 30,9 (2002); 8,8 (2003)$

→ resiliência às secas > açudes

→ recurso estratégico – gestão essencialmente sazonal

→  $V_{\text{explotável}} / V_{\text{armazenado}} \sim 0,3-0,5$  (até + se uso na estação chuvosa)

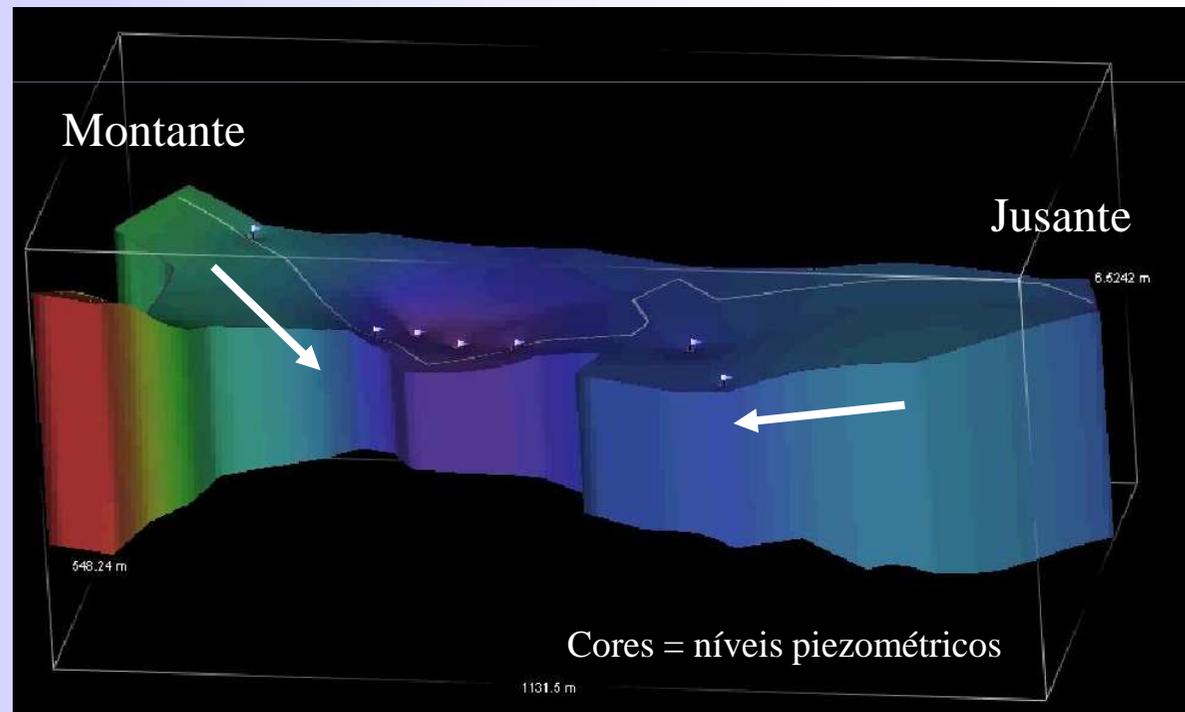
- Observações + simulações com modelo espacializado a base física Feflow:  
**Superexploração local possível mesmo com o aquífero globalmente cheio.**



Rebaixamento pronunciado:

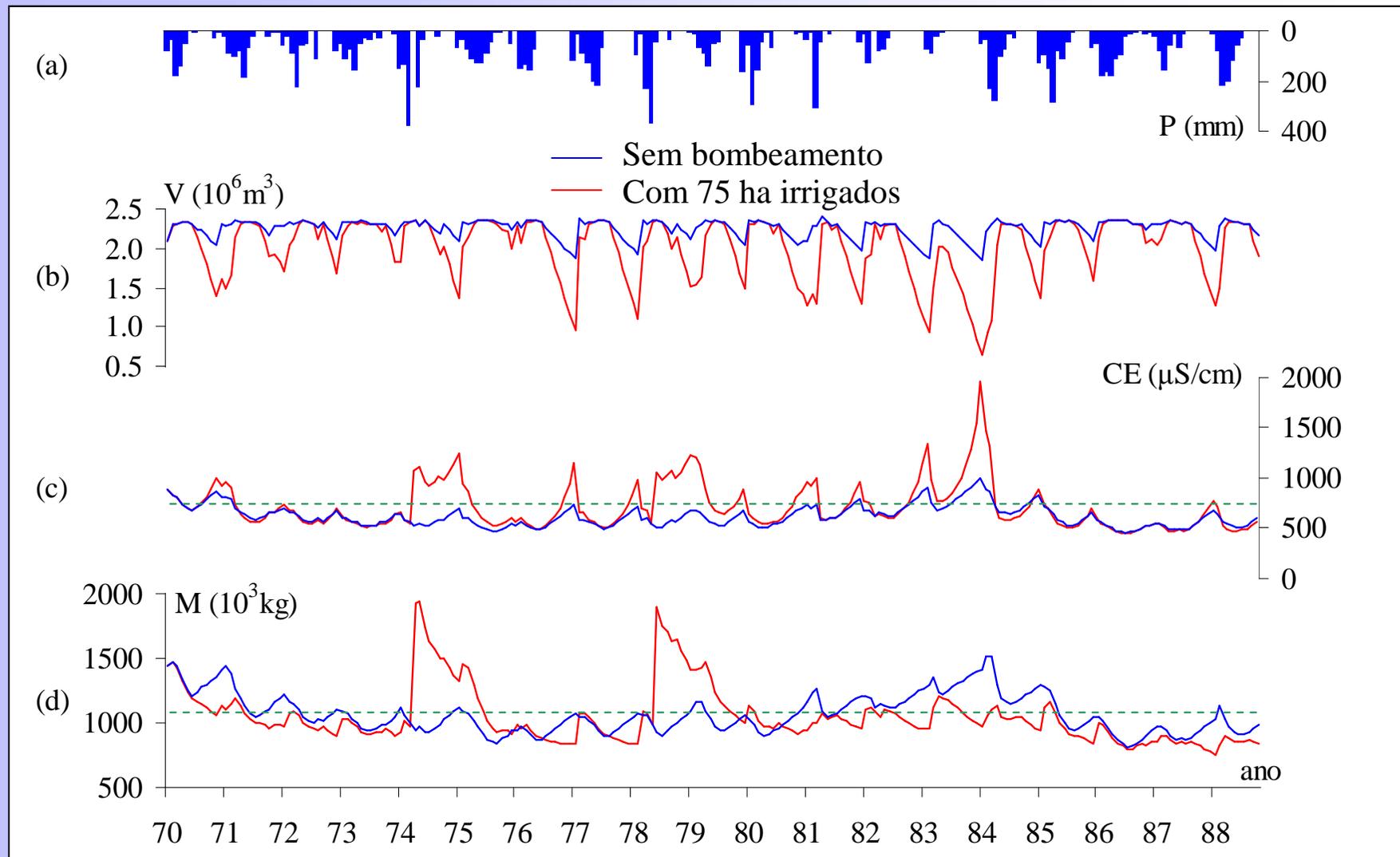
(4 meses)

- Inversão local de fluxo  
→ barragem subt.?
- export. de sais a jusante ~ 0
- Fluxo cristalino → aluvião ↑



*Artigo em andamento*

- **Dinâmica de salinidade é mais complexa** (características hidrogeológicas locais)
  - hipóteses
    - Origem dos sais → monitoramento e modelagem conceitual:
      - + fluxo permanente (aquífero salgado do embasamento cristalino)
      - + fluxo ocasional (lixiviação da zona não saturada ← água + sais acumulados por evaporação perto da superfície)
      - + fluxo regular (rio)
    - → estudos posteriores: quantificar de forma mais precisa a parte destes processos.
- **Ações antrópicas determinantes : modificação da dinâmica hidrológica a curto prazo e redistribuição dos sais no aquífero.**

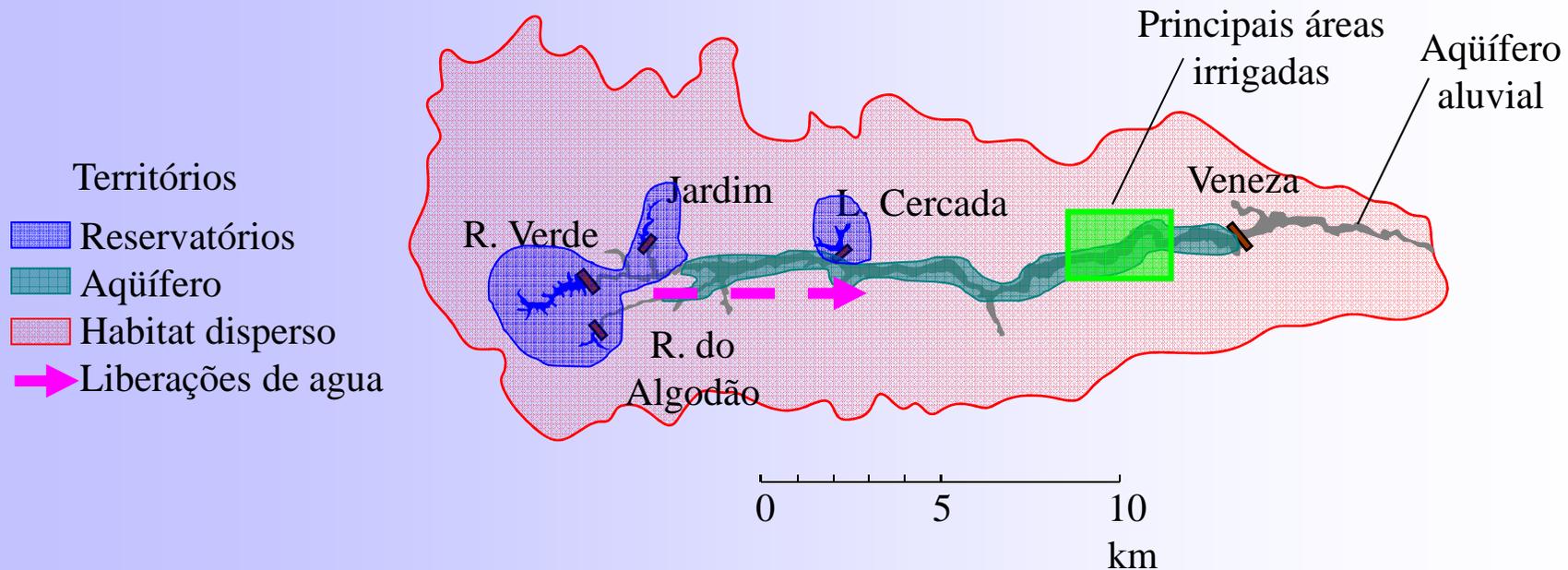


Pluviometria mensal no período 1970-1988 (a) e resultado da simulação de variação do volume (b) da CE (c) e da massa de sais (d) da água do aquífero aluvial no caso de um cenário sem bombeamento (linhas azuis) e com 75 ha irrigados (linhas vermelhas).

Artigo submetido (AWM), capítulo livro Fabre & Burte (2007)

## INTEGRAÇÃO AÇUDES-RIO-AQUÍFEROS ALUVIAIS GESTÃO SOCIAL DA ÁGUA

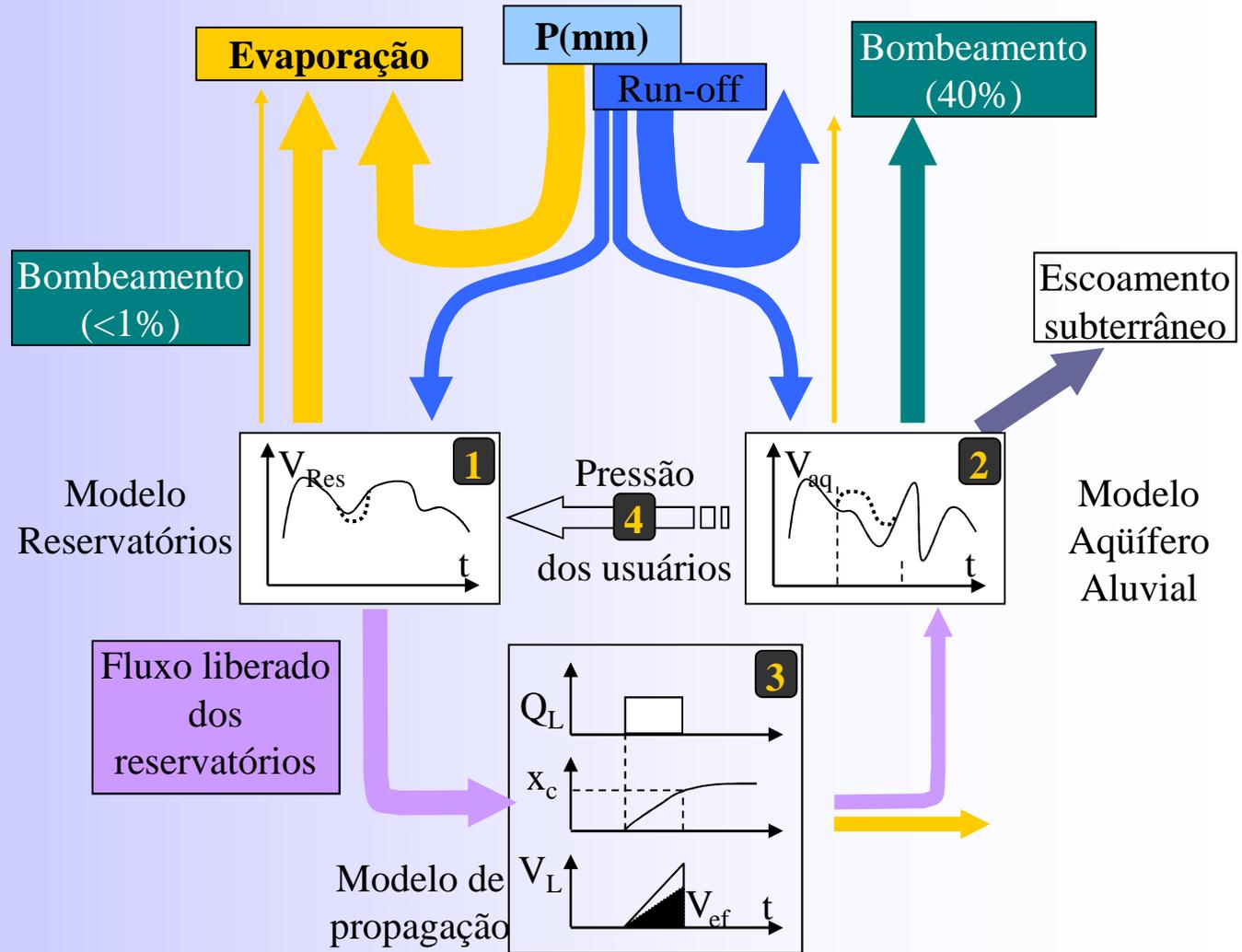
- Foram evidenciados diferentes territórios da água.
- Uso dos aquíferos aluviais: impacto sobre todos os territórios da água.
  - principalmente irrigação ~ 95% dos volumes de água bombeados
    - concorrência com os outros usos (doméstico, animal)
  - situação de tensão, sazonal, entre territórios



### III - 4. Simulação em 30 anos do impacto de cenários

Estudo das interações entre os diferentes territórios e recursos hídricos → ferramentas de modelagem.

As ferramentas de modelagem necessárias foram desenvolvidas para testar 3 cenários prospectivos.



#### Cenários

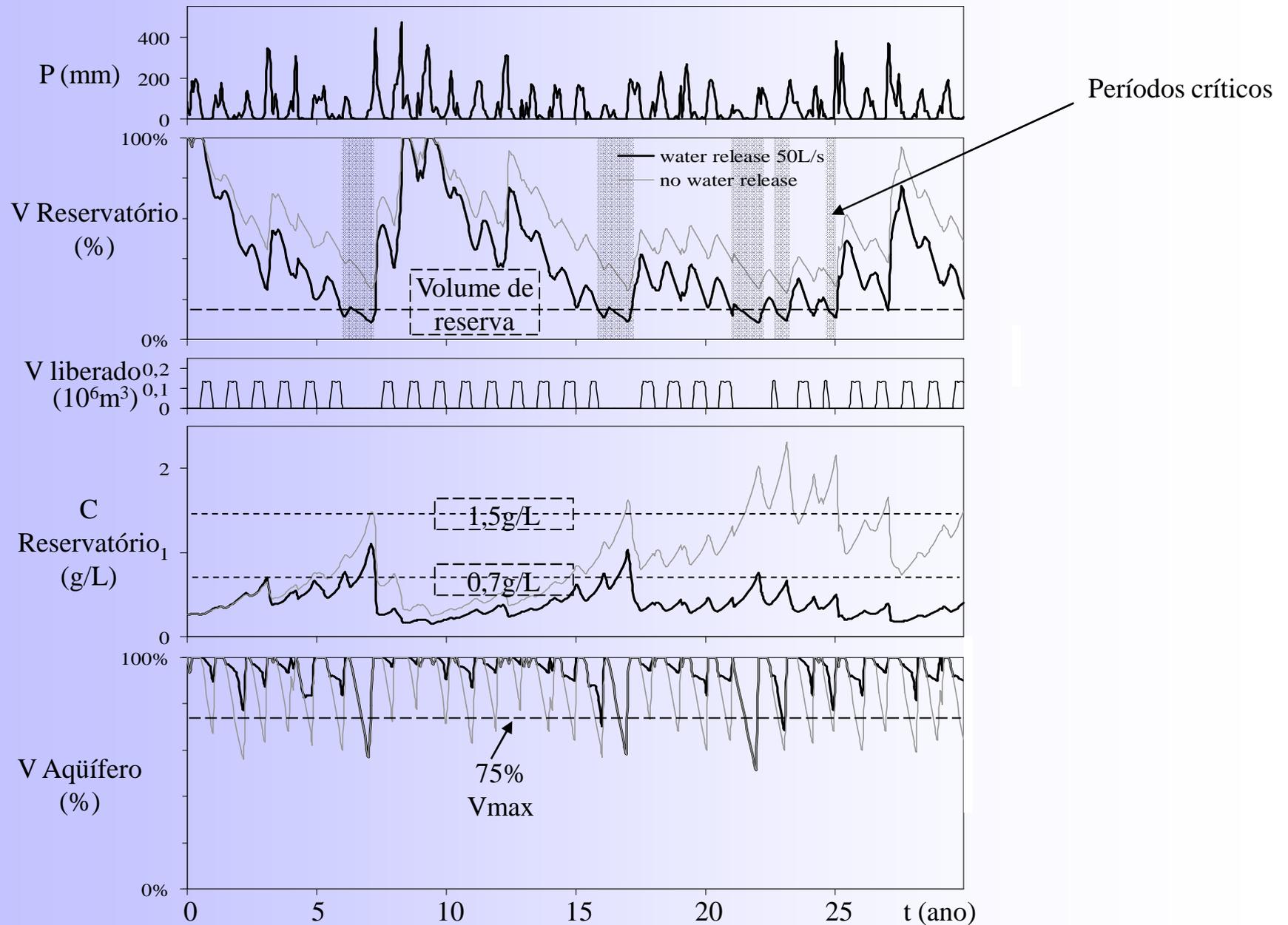
**cenário ‘atual’** → modo de exploração atual do aquífero aluvial e dos açudes (75 ha irrigados, população crescente, liberação de água do açude do Rch. Verde).

Diferentes hipóteses de liberação de água são testadas (50 a 280 L/s).

**cenário ‘sem irrigação’** → ausência de irrigação, → estimativa da disponibilidade máxima (em volume) para o abastecimento doméstico e animal

**cenário ‘irrigação dobrada’** → aumento da irrigação para 150 ha, a partir do aquífero aluvial.

### III - 4. Simulação em 30 anos do impacto de cenários



**Cenário ‘sem irrigação’:** disponibilidade em água é máxima (100% do tempo para os territórios « Aquífero » e « Habitat disperso » e 98% do tempo para o território « Reservatórios »).

#### **Cenário ‘atual’:**

- se  $Q=50L/s$  durante a estação seca: usos domésticos e animais garantidos 99% do tempo para o território « Aquífero » e 90% a 100% do tempo para o território « Reservatórios ». Para a irrigação, o abastecimento é garantido em 8 de 10 anos.
- se  $Q=0L/s$ : a irrigação sobre o território « Aquífero » seria garantida sem restrição somente em 1 de 10 anos.

**Cenário ‘irrigação dobrada’:** não seria possível satisfazer as necessidades prioritárias das populações (abastecimento doméstico). Mas crescimento recente das áreas irrigadas (2007) → para que este cenário seja evitado: uma mudança de atitude por parte dos usuários.

## INTEGRAÇÃO AÇUDES-RIO-AQUIFEROS ALUVIAIS GESTÃO SOCIAL DA AGUA

### • Modelagem

➤ gestão integrada dos diferentes RH é hidrológicamente eficiente e socialmente desejável (liberações,...).

→ benefício para os diferentes territórios em termos de disponibilidade do recurso hídrico

→ irrigação ~ 0 + liberações ~ 30L/s → carros-pipa ~ 0.

→ irrigação ~ atual +/- liberações ~ 50L/s → carros-pipa ~ 3500 \$/ano

### • Políticas públicas

#### 1) Privilegiar a orientation para

- a irrigação ? (atractiva para os jovens agricultores)
- as necessidades vitais dos homens e animais ?

#### 2) Privilegiar a negociação a nivel local

(gestão sustentável dos recursos + escolhas estratégicas)

- envolvimento dos diferentes grupos de usuários
- facilidade (escala local), prevenção de conflitos.

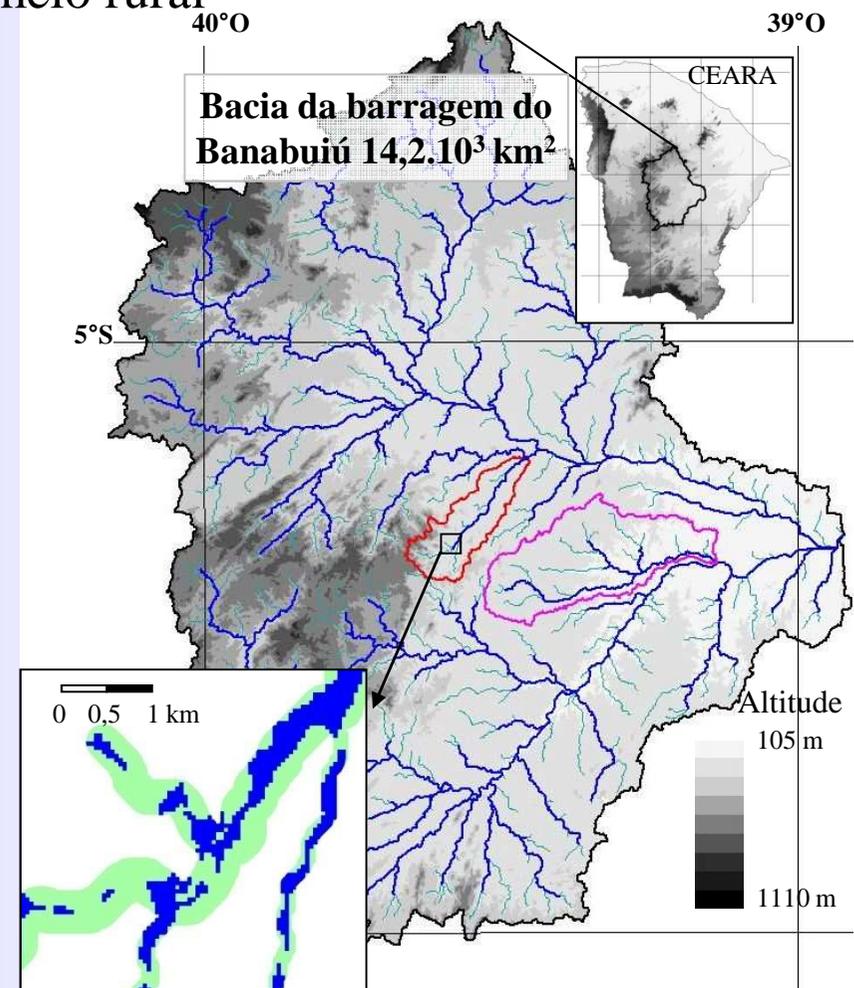
## NÍVEL REGIONAL

- Necessidade de avaliação do potencial hídrico dos pequenos aquíferos aluviais

→ planejamento do desenvolvimento do meio rural

→ conhecimento de recursos estratégicos (secas).

- Dificuldade: dispersão espacial
- Método para estimar o potencial hídrico em nível regional (critérios topo. e geomor.):
  1. Identificação das áreas próximas à rede de drenagem (buffers de largura variável)
  2. Identificação e extração das áreas planas (aluviões) nestes buffers (limiar fixo ou variável)



## NÍVEL REGIONAL

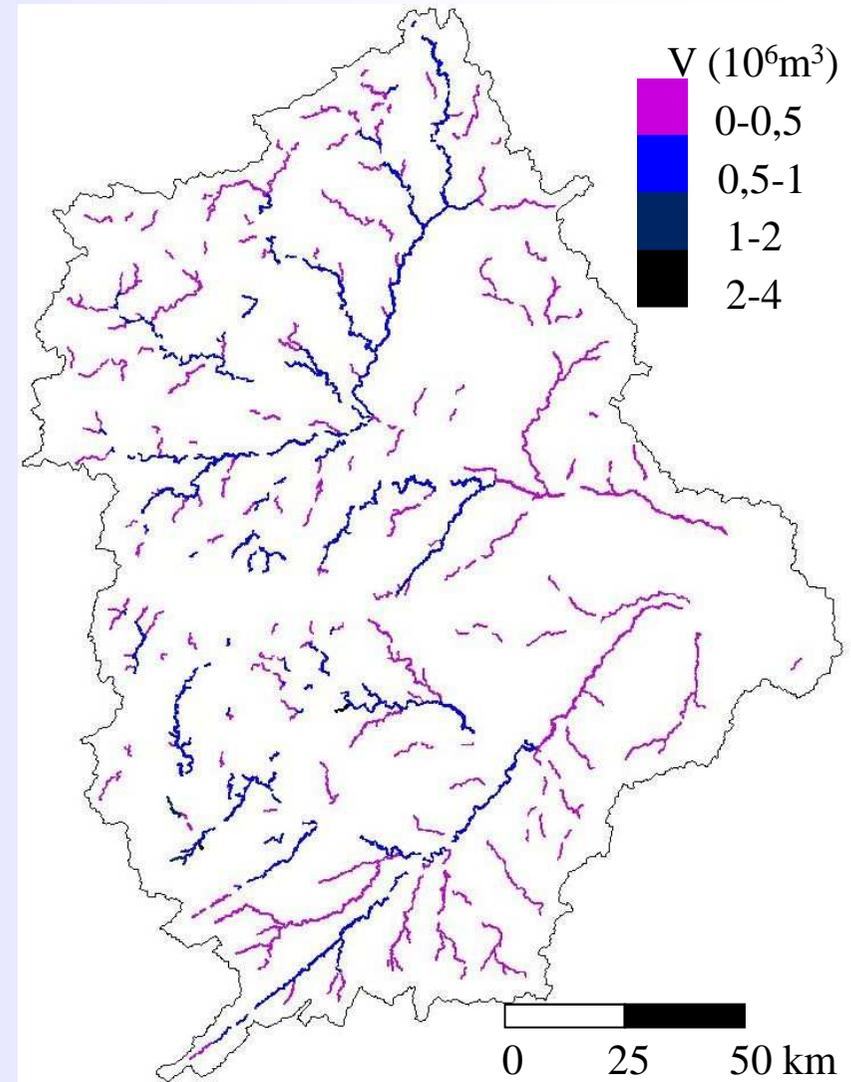
### Resultados

- Áreas a relevo pronunciado: S↓ Pot.↑
- Áreas com relevo suave : S↑ Pot.↓
- $V_{\text{armazenado}}$  35-65.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>
- $V_{\text{anual explotável}}$  18-35.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>  
→ POTENCIAL p/abastecimento rural.

Dados plano BB: potencial anual = cristalino

- $V_{\text{anual explotável}} \sim 4.10^6 \text{ m}^3 (+2,3)$

- Limites: heterogeneidade das formações aluviais (K), qualidade água – determinantes locais da CE, precisão MNT
- Melhoramento do método: geomorfologia e unidade de paisagem, e processos de sedimentação.



- Forte susceptibilidade aos impactos antrópicos e dispersão geográfica
  - Abordagem pluridisciplinar e multi-escala → discussão cenários
  - **Gestão da exploração: raciocinar em termos de recursos (hídricos), de usos e de usuários.**
  - Abordagem genérica
  
- **Dispositivo experimental mínimo:** caracterização relativamente precisa da dinâmica hidrológica destes pequenos aquíferos.
  - ⚠ **monitoramento CE** (↕ CE durante um ciclo hidrológico)!
    - nível regional: custo ↑ → **monitoramento participativo, descentralizado ?**
  
- **Modelagem conceitual ao passo de tempo mensal**
  - Insuficiente para processos hidrológicos complexos.
  - Simulações impactos de ≠ cenários
    - **reflexão sobre estratégias de gestão e integração dos recursos** (superficiais e subterrâneas)

- Resultados obtidos na bacia piloto (recarga dos aquíferos): melhor estimativa de  $V_{\text{anual explotável}}$  no método de regionalização.
- Método de mapeamento e caracterização regional : caráter genérico mas deve ser melhorado (unidades geomorfológicas etc...)  
Entretanto, resultados já muito interessantes (cf. PBB por exemplo)

**Muito obrigado !**

## **PARTIE 2 – Présentation en français**

Introduction

I - Objectifs

II - Méthodes

III - Principaux résultats

Accent sur la simulation de l'impact de scénarios de gestion

Conclusion

**Contexte global:** pression croissante sur les ressources en eau.

**Régions semi-arides:** défi particulièrement important: ressources plus limitées, évaporation forte des eaux superficielles, ressources en eau souterraines limitées (zones de socle peu fracturées).

### ↳ Petites nappes alluviales

- évaporation limitée, accès facile, grande dispersion géographique
- ressources importantes en milieu rural pour
  - le maintien des populations
  - un développement durable

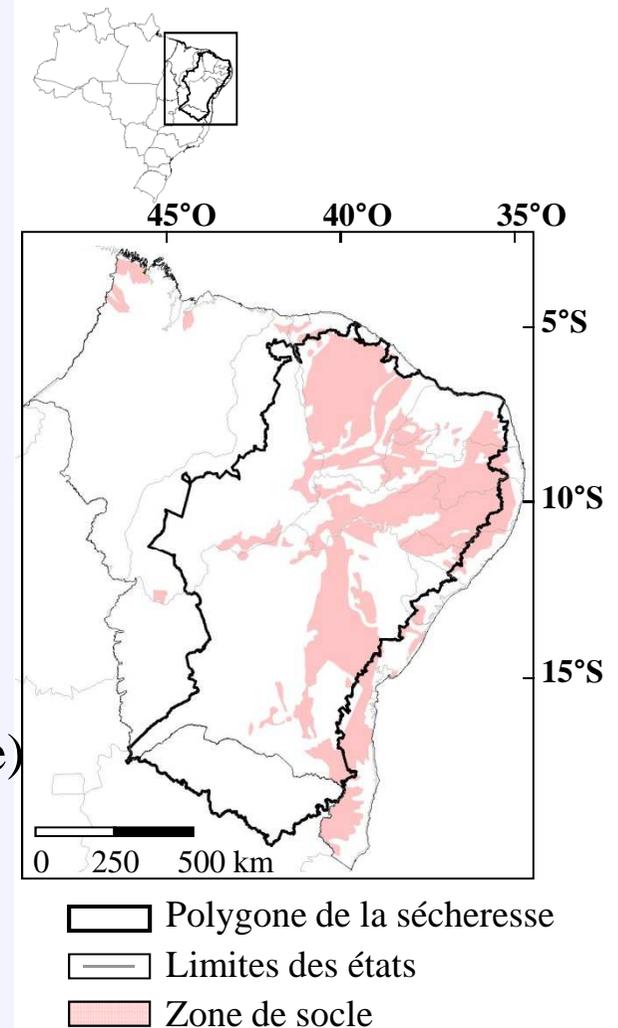
ex: en Afrique (*Lavigne Delville, 1998*)
- ressources fragiles fortement réactives aux actions anthropiques  
(volume limité, susceptibilité aux pollutions, usages multiples)  
→ **Approche multidisciplinaire** (physique, social)
- peu d'études sur le potentiel d'exploitation et la gestion de ces nappes.

**Nordeste brésilien**, grande **région semi-aride**  
(division administrative “Polygone des sécheresses”  
~ 950 000 km<sup>2</sup>) (**Fig.**), **zone de socle cristallin**

**Déficit hydrique annuel élevé** (> 1000 mm)

### Ressources en eau limitées

- superficielles ← évaporation élevée
- souterraines
  - aquifère de socle (débit faible, salinité élevée)
  - petits aquifères alluviaux :
    - peu exploités (malgré débit fort et salinité faible)
    - initiatives récentes: développement de leur exploitation
    - connaissances insuffisantes (fonctionnement hydrologique et potentiel d’exploitation)

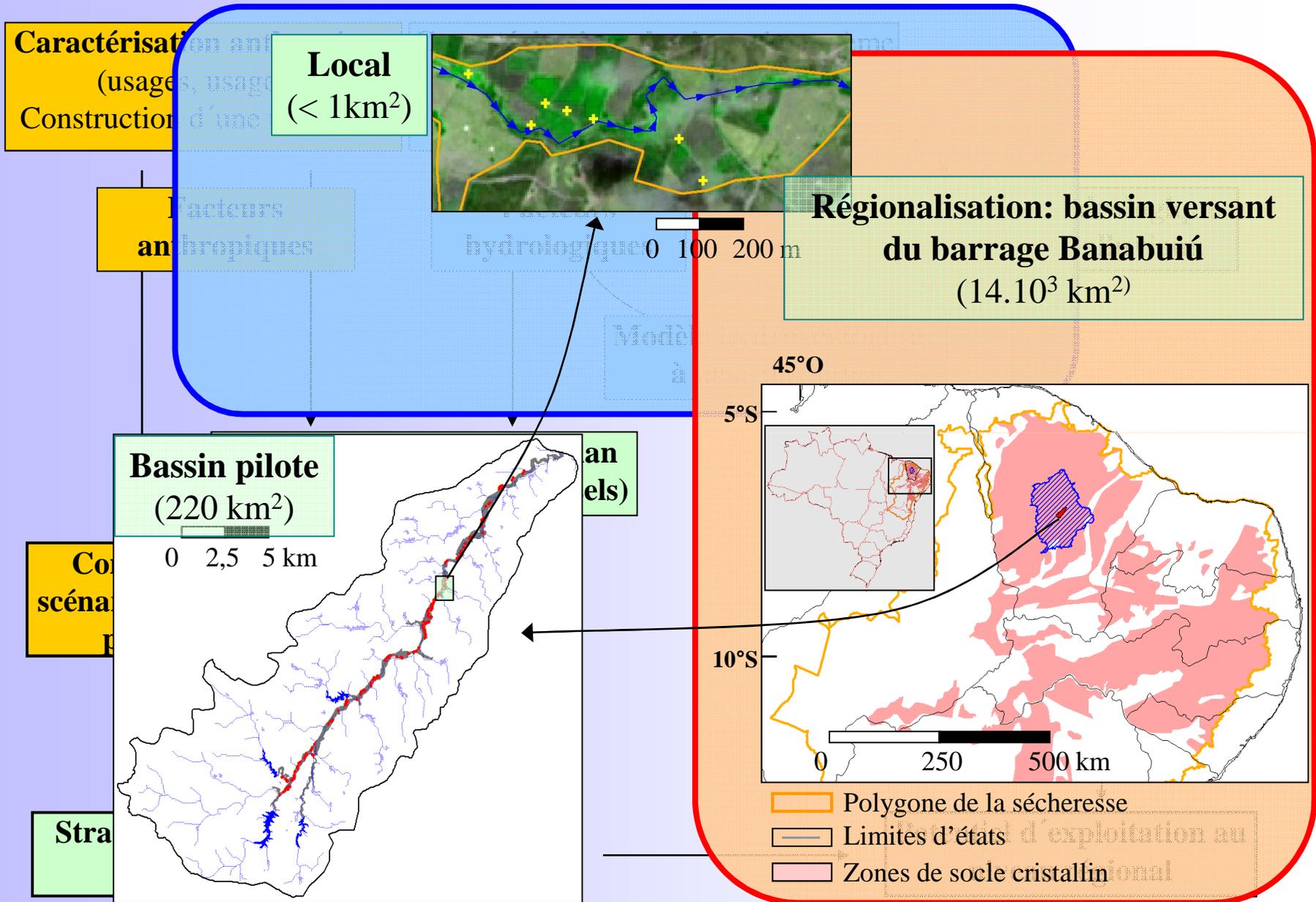


## Objectif général :

Développer une méthodologie de caractérisation du système 'aquifère alluvial' en zones de socle semi-arides et simuler l'évolution de la disponibilité en eau pour des usages multiples à partir de scénarios réalistes du point de vue physique et socioéconomique.

## **Objectifs spécifiques :**

- Compréhension du fonctionnement hydrologique de ce type d'aquifère.
- Développement d'outils de simulation (modèles de prévision simples), pour simuler l'impact de modes d'exploitation et de gestion.
- Définition de stratégies de gestion collective, prenant en compte les contraintes physiques, économiques et sociopolitiques locales.
- Développement d'une méthodologie pour estimer le potentiel hydrique des petits aquifères alluviaux à une échelle régionale.
- Elaboration de méthodologies de suivi et d'évaluation des risques liés à la surexploitation à court terme d'une ressource hydrogéologique.



### Caractérisation du milieu physique

- Suivi des principales RH sur le bassin pilote (H, CE, analyses)
- Etudes ponctuelles dans le temps (caractérisation des RH, lâchers)  
et dans l'espace (zones pilotes)

### Caractérisation des usages et des usagers

**Etape 1:** construire une première typologie (usagers, usages, perception des RH, critères d'utilisation, formes de gestion)

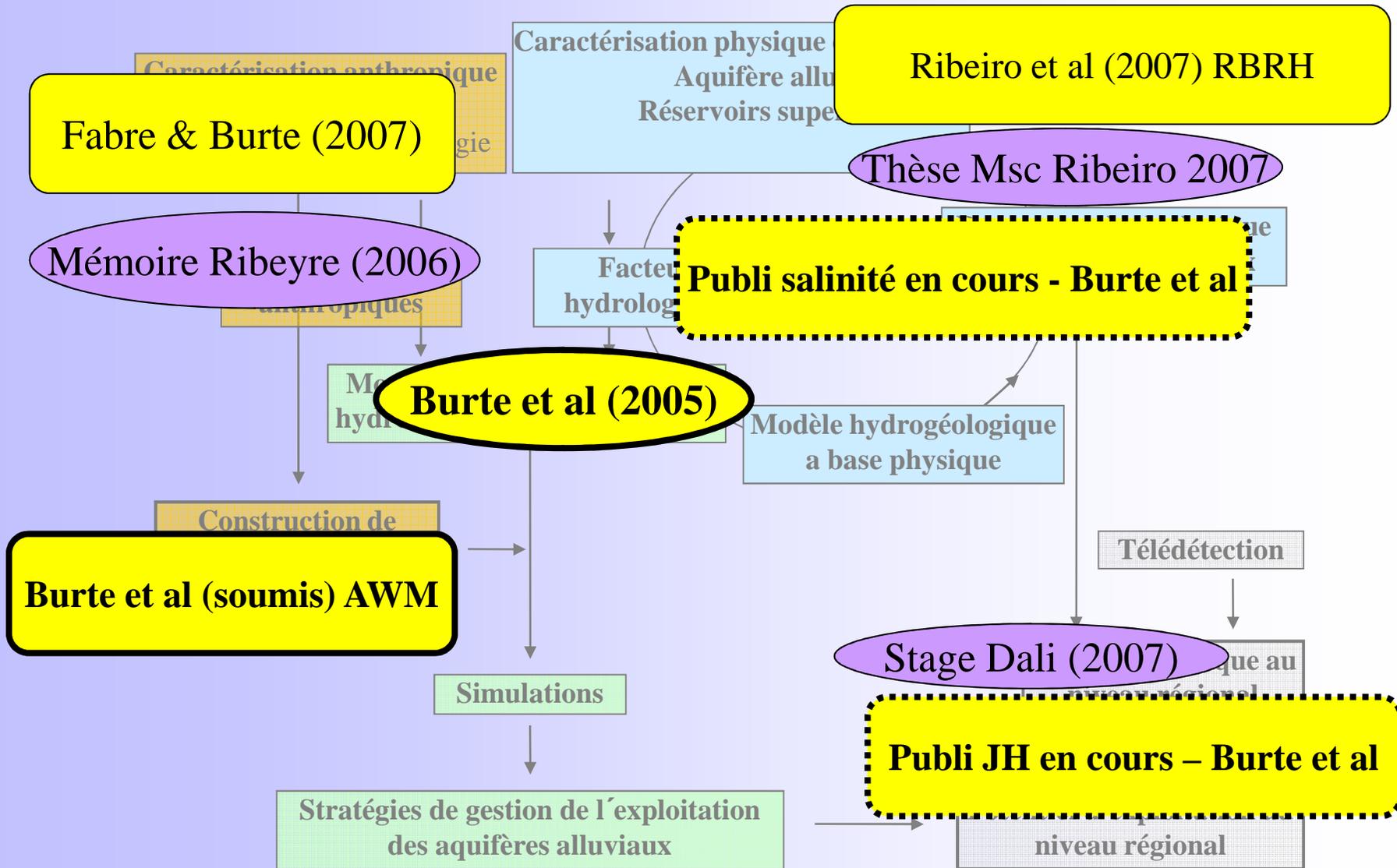
Enquêtes et questionnaires semi-directifs (2005)

Comparaison avec des données de 1998 (*Burte, 1998*)

**Etape 2:** détailler cette typologie

études qualitatives et quantitatives, questionnaires et grilles d'analyse

PUBLICATIONS ET ENCADREMENT

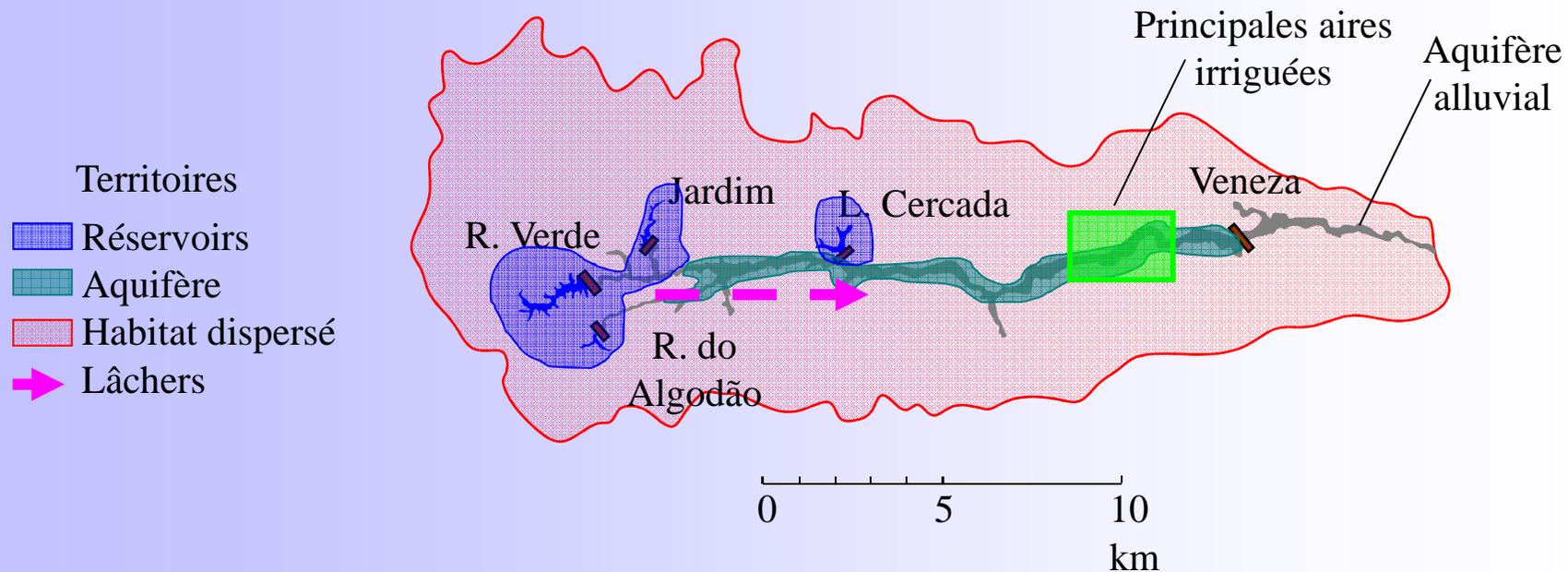


### AQUIFÈRES ALLUVIAUX

- **Dynamique hydrologique saisonnière, recharge à partir du lit de la rivière**  
**Capacité de recharge élevée** (sur 30 ans recharge 9 années sur 10)
  - résilience aux sécheresses > retenues
  - ressource stratégique - gestion essentiellement saisonnière
  - $V_{\text{exploitable}} / V_{\text{emmagasiné}} \sim 0,3-0,5$  (voire + si usage en saison des pluies)
- **Surexploitation locale possible même avec aquifère globalement rempli.**
- **Dynamique de salinité plus complexe** (caractéristiques hydrogéologiques locales)
  - hypothèses
    - origine des sels
      - apport permanent (aquifère salé du socle cristallin)
      - apport occasionnel (lessivage de la zone non saturée ← eau + sels accumulés par évaporation près de la surface)
      - apport régulier (rivière)
    - → études postérieures: quantifier la part de ces processus.
- **Actions anthropiques déterminantes : modification de la dynamique hydrologique à court terme, redistribution des sels**

## INTEGRATION RETENUES-RIVIERE-AQUIFERES ALLUVIAUX GESTION SOCIALE DE L'EAU

- Mise en évidence de différents territoires de l'eau.
- Utilisation des aquifères alluviaux: impact sur tous les territoires de l'eau.
  - surtout irrigation ~ 95% des volumes d'eau pompés
  - concurrence avec les autres usages (domestique, bétail)
  - situation de tension social saisonnière entre les territoires



## INTEGRATION RETENUES-RIVIERE-AQUIFERES ALLUVIAUX GESTION SOCIALE DE L'EAU

### • Modélisation

➤ gestion intégrée des différentes ressources hydrologiquement efficace et socialement souhaitable (lâchers, ...).

→ bénéfique pour les différents territoires en termes de disponibilités de la ressource en eau

→ irrigation ~ 0 + lâchers ~ 30L/s → camions-citernes ~ 0.

→ irrigation ~ actuelle +/- lâchers ~ 50L/s → camions-citernes ~ 3500 \$/an

### • Politiques publiques:

1) privilégier l'orientation?

- l'irrigation ? (attractive pour les jeunes agriculteurs)
- les besoins vitaux des hommes et des troupeaux ?

2) privilégier la négociation au niveau local?

(gestion durable des ressources + choix stratégiques)

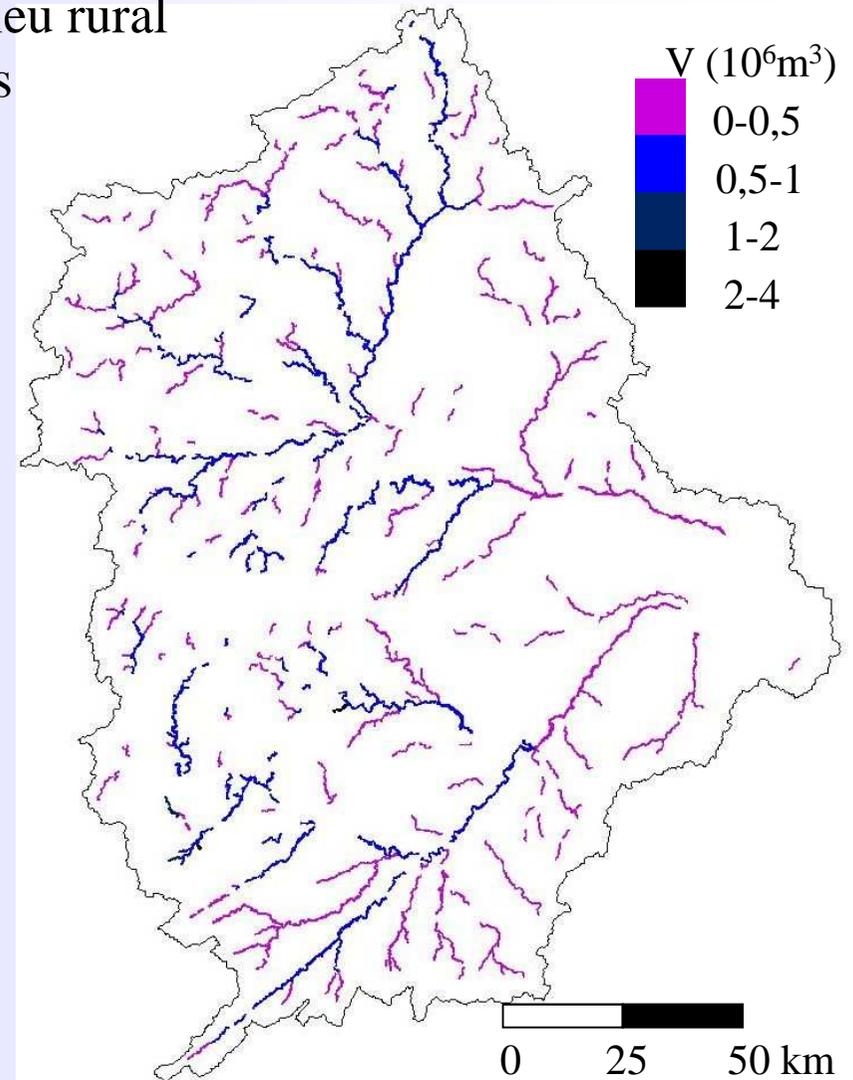
- implication des différents groupes d'usagers
- facile (local) et permet prévention de conflits

## NIVEAU REGIONAL

- Nécessité d'évaluation du potentiel hydrique des petits aquifères alluviaux
  - planification du développement du milieu rural
  - connaissance de ressources stratégiques (sécheresses).

Difficulté: dispersion spatiale

- Méthode d'estimation du potentiel hydrique au niveau régional (critères topo. et géomor.):
  - Zones à relief marqué: S↓ Pot.↑
  - Zones sans relief marqué: S↑ Pot.↓
  - V/an exploitable 18-35.10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>
- Limites: hétérogénéité des formations alluviales (K), qualité eau - déterminants locaux de la CE, précision MNT, processus de dépôts.

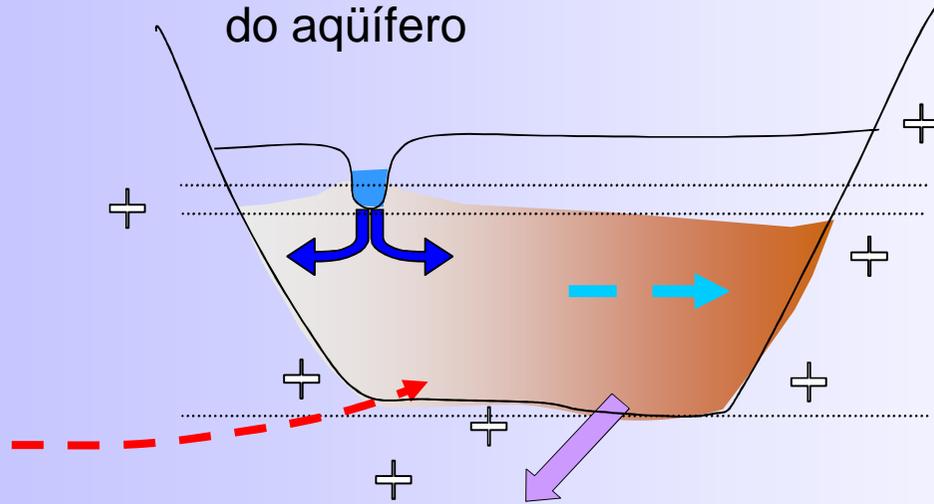


- Forte susceptibilité aux impacts anthropiques et dispersion géographique
  - Approche pluridisciplinaire et multi échelle → discussion scénarios
  - **Gestion de l'exploitation: réfléchir en termes de ressource, d'usages et d'usagers.**
  - Démarche générique
  
- **Dispositif expérimental minimal:** caractérisation relativement précise de la dynamique hydrologique de ces petits aquifères.
  - ⚠ **suivi CE** (↕ CE pendant cycle hydrologique)!
    - niveau régional: coût ↑ → **suivi participatif, décentralisé ?**
    - ↳ Jusqu'à quel point?
  
- **Modélisation conceptuelle au pas de temps mensuel**
  - Insuffisante pour processus hydrologiques complexes.
  - Simulations impacts ≠ scénarios
    - **réflexion sur stratégies de gestion et intégration des ressources**  
(superficielles et souterraines)

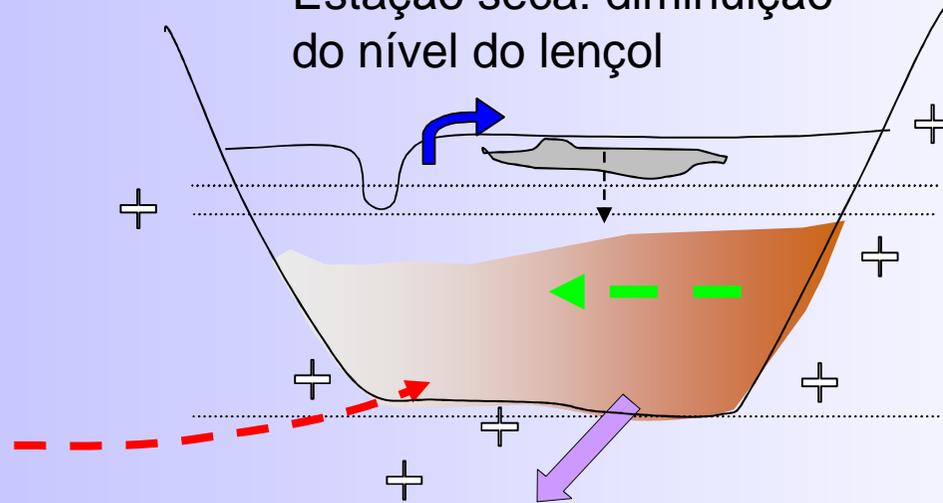
**Merci!**

- **Burte, J.** (1998). Mapa e caracterização socio-economica do vale do Forquilha. Fortaleza, UECE.
- **Burte, J., A. Coudrain, et al.** (2005). "Human impacts on components of hydrological balance in an alluvial aquifer in the semiarid Northeast, Brazil." Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques **50**(1): 95-110.
- **Burte, J., J.-Y. Jamin, et al.** (2008). "Simulations of multipurpose water availability in a semi-arid catchment under different management strategies." Agricultural Water Management (**submitted**).
- **Daly-Erraya, G.** (2007). Délimitation des aquifères superficiels dans le Nordeste brésilien (Quixeramobim-CE). Montpellier, IUT CAen: 38.
- **Fabre, N. and J. Burte** (2007). Efeitos da interação entre políticas públicas e dinâmicas locais sobre a agricultura familiar : Estudo de caso da bacia do Riacho Forquilha – Quixeramobim / CEARÁ. Agricultura familiar: Interação entre políticas publicas e dinamicas locais. UFRGS. Rio Grande do Sul. **1**: 221-248.
- **Ribeiro Lima, C. H., H. Frischkorn, et al.** (2007). "Avaliação da Interação Rio-Aquífero a Partir de Dados Experimentais e de um Modelo Analítico." RBRH (Revista Brasileira de Recursos Hídricos).
- **Ribeyre, D.** (2006). La vallée du Forquilha : multi-usages et stratégies de gestion de l'eau dans le Nordeste semi-aride (Ceara - Brésil), CNEARC (Montpellier-France). **Master Thesis: 145.**

Estação chuvosa : recarga do aquífero



Estação seca: diminuição do nível do lençol



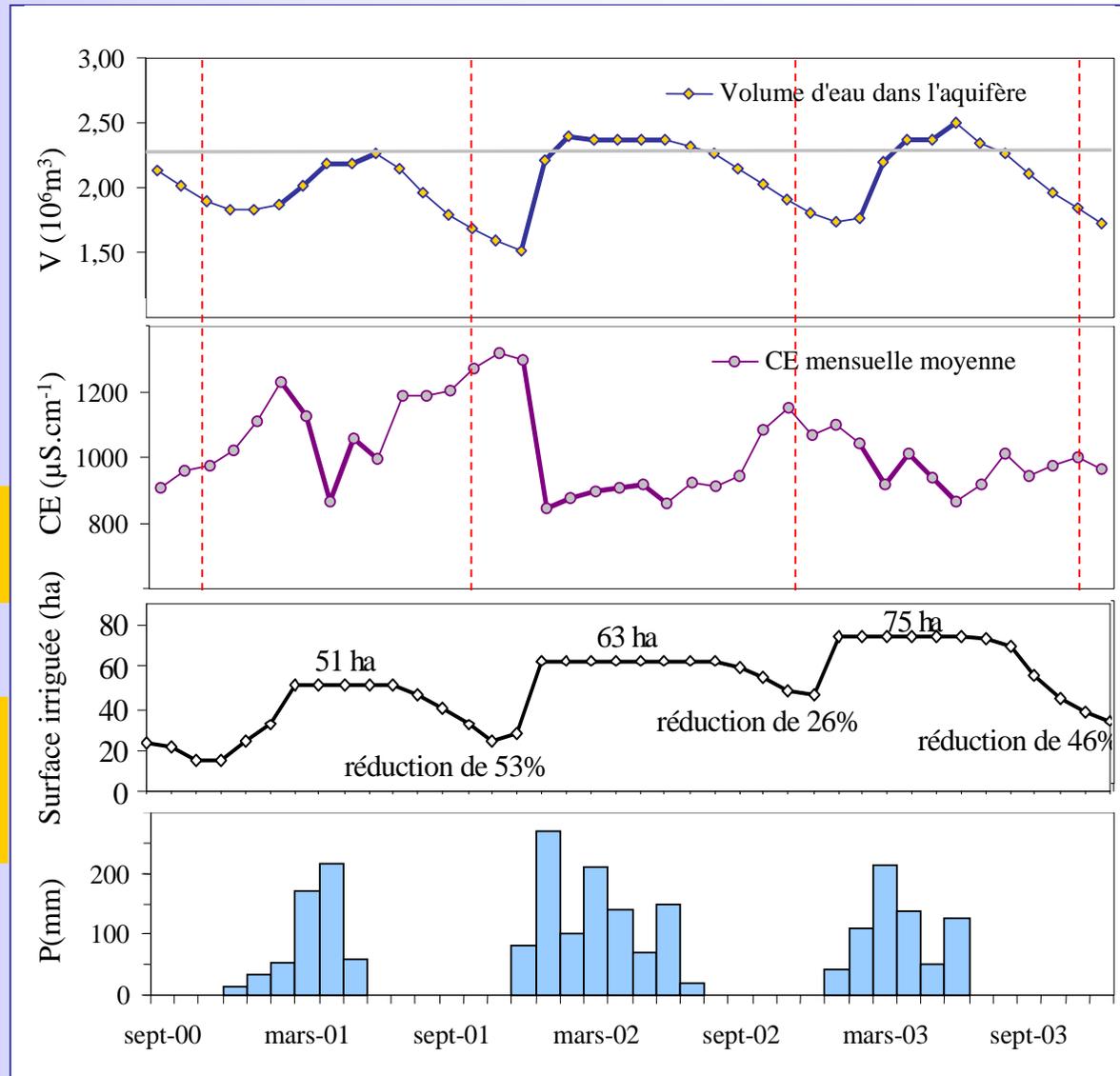
## Analyse temporelle des données

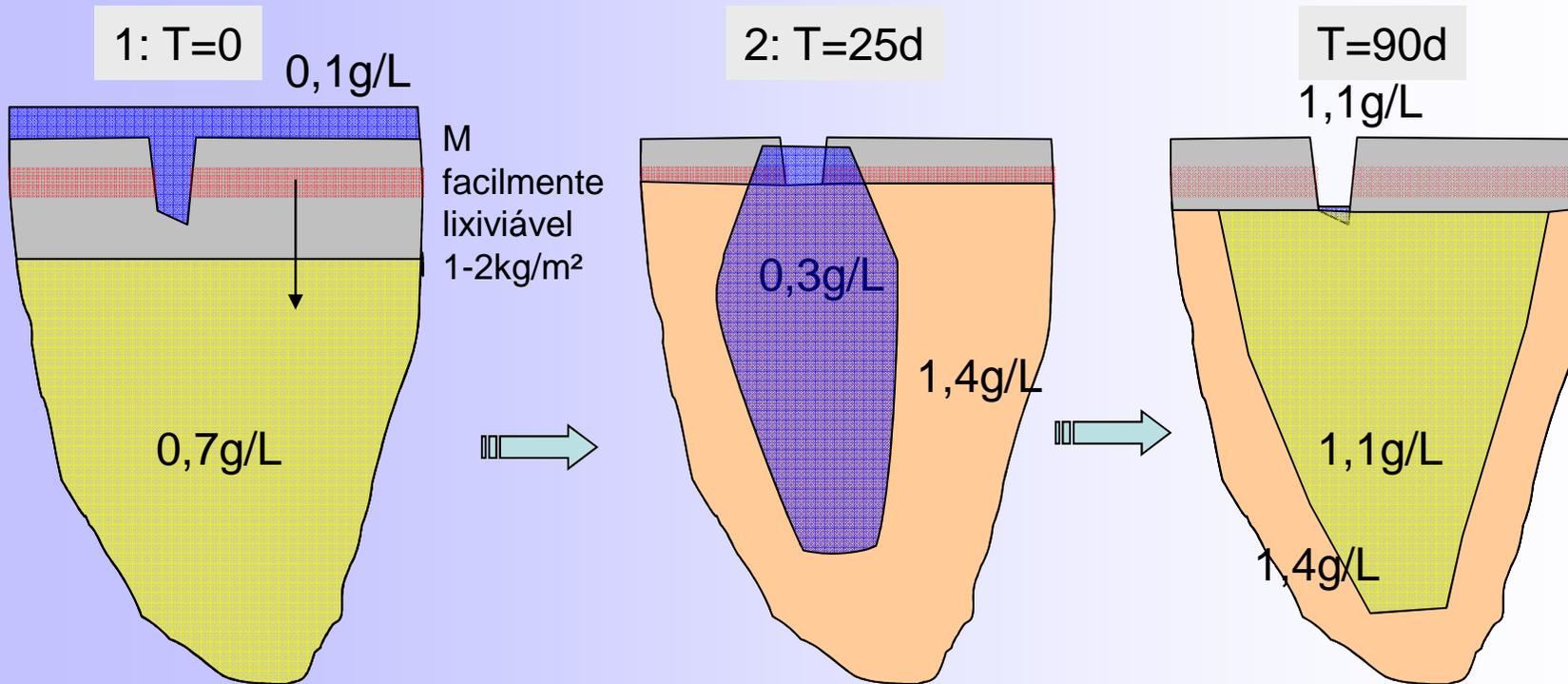
### Mise en évidence des variations saisonnières

du volume (V) (à partir des 20 piezo.)  
de la conductivité électrique (CE)  
des surfaces irriguées

Seules les précipitations importantes (>50mm) → volume ↑

Fin de saison sèche → surface irriguée ↓  
(stratégie des agriculteurs)





		101	106	111	113	114
M (g/m <sup>2</sup> )	1	526	497	268	617	748
	2	546	1559	1613	1611	2445
H	1	3.48	3.29	2.15	3.55	5.72
	2	4.95	5.51	5.45	6.83	8.93
C (g/L)	1	755	755	623	869	654
	2	551	1414	1480	1180	1369
	recarga	68	2391	2038	1517	2644

Simulator Run

- (Re-) Run simulator
- Edit/modify problem
- Halt and view results
- Budget analyzer
- Fluid flux analyzer
- Content analyzer
- Special operations
- Control output
- Problem summary
- Help
- Exit to master menu

feflow feflow feflow feflow  
 feflow feflow feflow feflow

TIME CHARACTERISTICS:

Time [d]: 2000,000  
 Step [d]: 5,000

Selected Element Type:



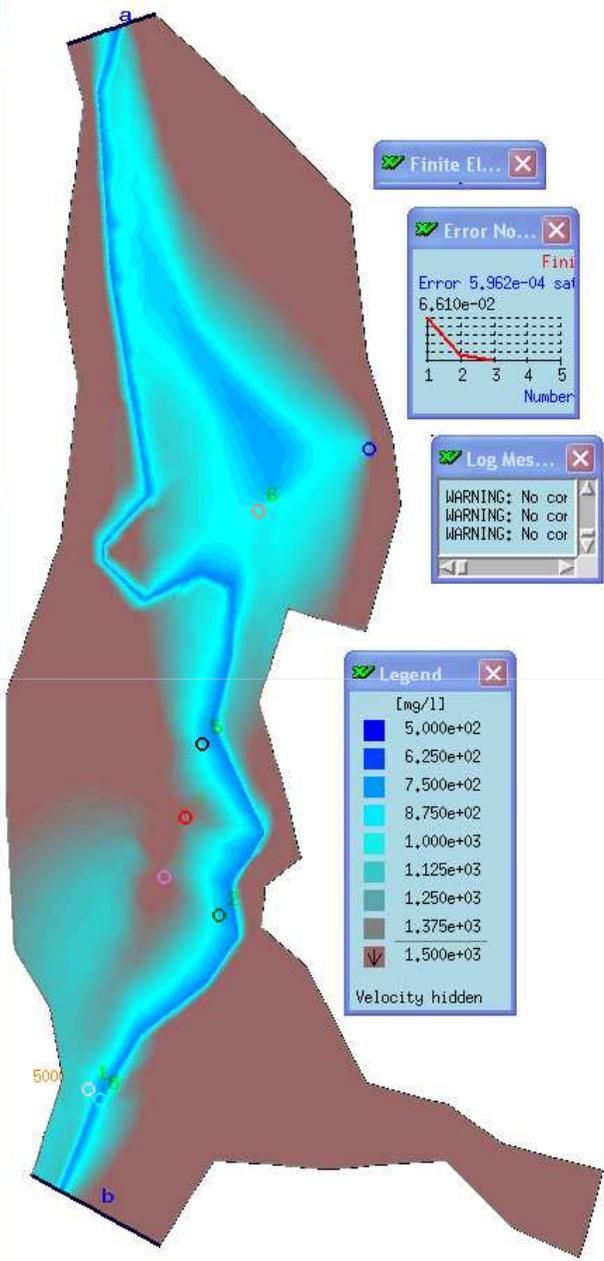
Computational Status (per cent done):



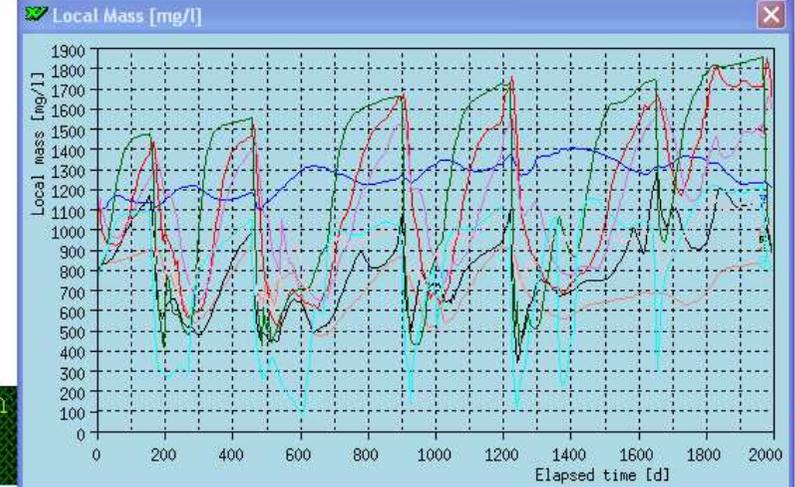
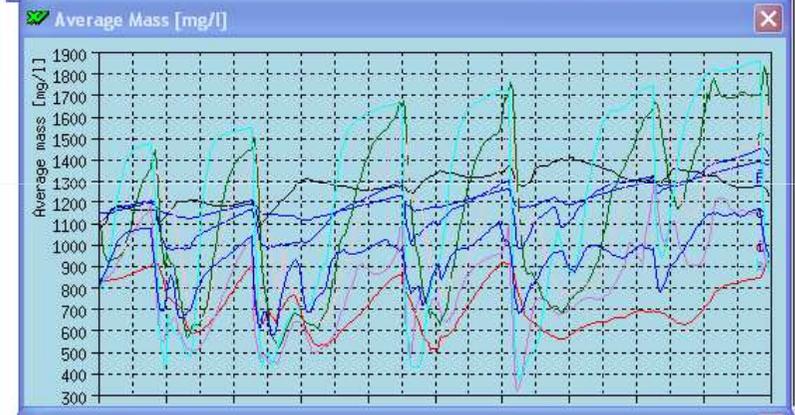
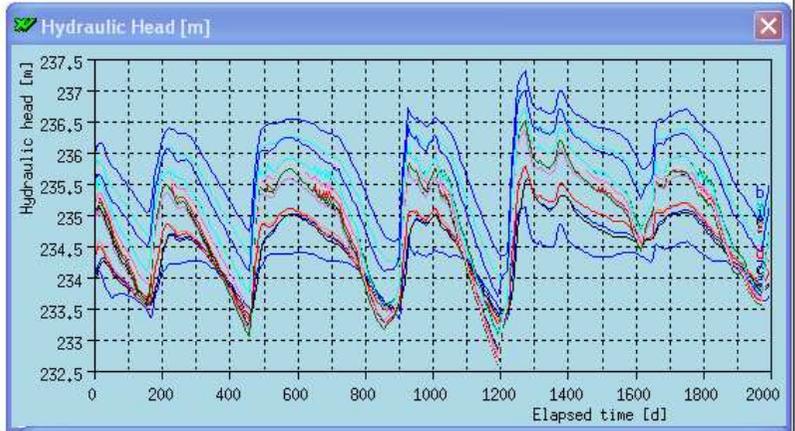
Measure [m] 1301.25  
 Exaggeration 1 : 1

Layers: Slices:

X: Slice: 1  
 Y: Layer: 1  
 3D Options



Finite El...  
 Error No...  
 Error 5,962e-04 sat  
 6,610e-02  
 Log Mes...  
 WARNING: No cor  
 WARNING: No cor  
 WARNING: No cor



Select a menu option with the left mouse button

## Present types of water resources in Forquilha watershed

Name	Max capacity (m <sup>3</sup> /yr)	Usable volume of water (m <sup>3</sup> /yr)	Surface area (m <sup>2</sup> )	Salinity range (g/L)	Location (number of the communities cf.Fig.1)
<b>Four over-year reservoirs</b>					
R. Verde (built in 1989-first filled in 2004)	67 10 <sup>5</sup>	5.7 10 <sup>5</sup>	8 10 <sup>5</sup>	0.14 to 0.38	2 & 3
R. Algodão (built in 2000-first filled in 2001)	8.7 10 <sup>5</sup>	2.1 10 <sup>5</sup>	1.6 10 <sup>5</sup>	0.09 to 0.25	4
Jardim (built in 1988-first filled in 1988)	9.7 10 <sup>5</sup>	2.1 10 <sup>5</sup>	1.8 10 <sup>5</sup>	0.09 to 0.28	7
L. Cercada (built in 2003-first filled in 2003)	13 10 <sup>5</sup>	1.3 10 <sup>5</sup>	3.1 10 <sup>5</sup>	0.07 to 0.35	8
<b>69 small reservoirs</b> that empty and fill each year	< 3 10 <sup>5</sup> (all)	-	< 10 <sup>5</sup>	> 0.05	1 to 17
<b>90 Cisterns</b>	5 to 30 each	≈ 900	-	0.05 to 0.15	1 to 17
<b>Alluvial aquifer</b> with 180 wells drilled and equipped between 1998 and 2007	2.3 10 <sup>6</sup> (volume of water with a mean water height of 4 m)	1 10 <sup>6</sup>	6 10 <sup>6</sup>	0.1 to 2 Mean value 0.7	mainly in 12 & 13
<b>Tank trucks</b> provided by public authorities in case of severe droughts, at costs of 5.4 US\$ / m <sup>3</sup>		30 L/day/cap ita			1 to 17

Table 5 – Results from simulations for 30 years (population increasing from 3900 to 5600 persons)

<b><u>Conditions of simulations :</u></b>	<b>Results of simulations (in bold when highly beneath desired):</b>				
	Mean annual cost for tank trucks (US\$ / yr)	% time of satisfacti on for domestic needs (% yrs or % months)	% time of satisfacti on of the irrigation needs (% yrs or % months)	% time with volume of Verde > 15% of its capacity (% yrs or % months)	% time with salinity of R. Verde <0.7 g/L (% months)
<b>Irrigated fields : 0 ha</b>					
0 L/s		88% yrs	-	100% yrs 100% months	<b>40%</b>
30 L/s during 5 months		98% yrs	-	100% yrs 100% months	86%
<b>Irrigated fields : 75 ha</b>					
0 L/s	<b>3000</b>	<b>40% yrs</b> <b>77% months</b>	<b>10% yrs</b> <b>77% months</b>	100% yrs 100% months	<b>40%</b>
50 L/s during 5 months	<b>3500</b>	<b>70% yrs</b> 85% months	90 % yrs 96% months	70% yrs 85% months	95%
130 L/s during 2 months	<b>3500</b>	<b>70% yrs</b> 85% months	90% yrs 93% months	70% 85% months	95%
<b>Irrigated fields : 150 ha</b>					
0 L/s	<b>0</b>	<b>10% yrs</b> <b>53% months</b>	<b>10% yrs</b> <b>53% months</b>	100% yrs 100% months	<b>40%</b>
80 L/s during 5 months	<b>17500</b>	<b>30% yrs</b> <b>73% months</b>	<b>30% yrs</b> <b>73% months</b>	<b>50% yrs</b> <b>75% months</b>	99%