

OXIGÊNIO-18, DEUTÉRIO E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA PARA CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA NO VALE DO GURGUÉIA

**Carlos Evandro de Carvalho Dias Carneiro¹, Maria Marlúcia Freitas Santiago²,
Horst Frischkorn³, Josué Mendes Filho² e Markus Forster⁴**

Resumo - O Vale do Gurguéia no sudoeste do Estado do Piauí, está localizado na bacia sedimentar Piauí – Maranhão. Foram analisadas quarenta amostras de poços no aquífero Cabeças medindo condutividade elétrica e os isótopos ambientais oxigênio-18 e deutério. As condutividades elétricas são excepcionalmente baixas, tendo 37 amostras valores abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ mesmo nas paleoáguas. O fraturamento na área formou sistemas de armazenamentos subterrâneos estanques com águas de propriedades diferenciadas.

Palavras-chave - Isótopos ambientais, Águas subterrâneas, Vale do Gurguéia.

INTRODUÇÃO

Os isótopos ambientais constituem uma importante ferramenta para os estudos sobre a origem da água subterrânea. A sua composição isotópica, especialmente as razões isotópicas O-18/O-16 e D/H, depende das chuvas que produzem as águas de recarga. Em águas subterrâneas estas razões são parâmetros conservadores e em águas superficiais mudam por processos físico - químicos, tais como evaporação, o que faz de O-18 e D excelentes traçadores para esclarecer os mecanismos de recarga de um aquífero.

¹ Depto. de Física – UFPI Campus Ministro Petrônio Portella Nunes – 64049 – 550 - Teresina - Piauí

² Depto. de Física – UFC e-mail: marlucia@fisica.ufc.br - Cx. Postal 6030, 60.451-970 Fortaleza- Ce Tel: (085) 288 9913 Fax: (085)287 4138

³ Depto. de Hidráulica e Meio Ambiente – UFC

⁴ Hydroisotop gmbh – e-mail: Hydroisotop@T-Online.de

O uso destes isótopos ambientais nos estudos das reservas hídricas é rotina nos países desenvolvidos. No Brasil intensifica-se o uso desta técnica não convencional que permite obter informações importantes, muitas vezes difíceis de serem obtidas pelo métodos convencionais. Destacamos, no Nordeste do Brasil, o uso de isótopos ambientais nos estudos da bacia Piauí - Maranhão (Santiago et al. 1981; Geyh et al. 1991 e Frischkorn e Santiago 1992) e da bacia do Cariri (Santiago et al. 1997, 1996, 1994 e 1992) e da bacia Potiguar (Frischkorn et al. 1988).

Neste trabalho, utilizamos medidas dos isótopos estáveis oxigênio -18 e deutério e de condutividade elétrica para identificar a origem das

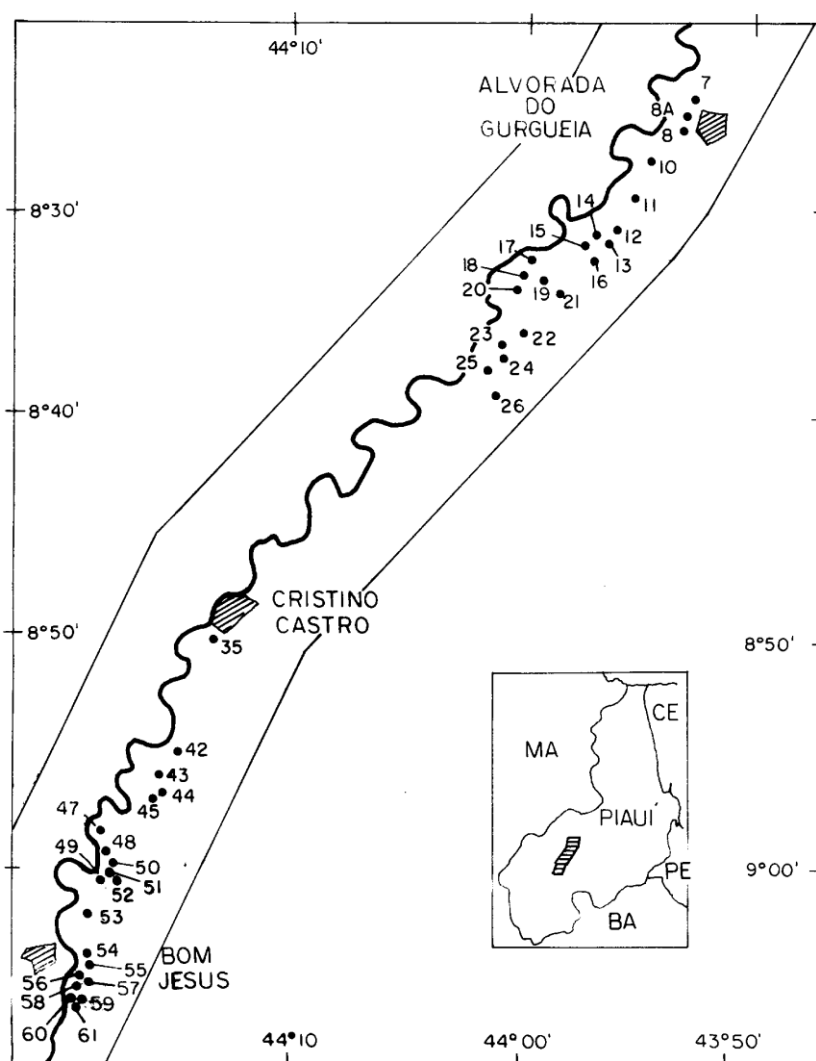


Figura 1 – Localização dos poços amostrados na área estudada no Vale do Gurguéia

águas coletadas em poços ao longo do rio Gurguéia, entre Bom Jesus e Alvorada do Gurguéia (Figura 1).

HIDROGEOLOGIA

No Vale do Gurguéia, a seqüência sedimentar da bacia Piauí - Maranhão é representada pelos sedimentos da seqüência clástica continental - marinha, formações Serra Grande, Pimenteiras, Cabeças e Longá e á esquerda do rio Gurguéia, pelos sedimentos carboníferos do sistema Poti – Piauí (Figura 2).

O sistema aquífero Cabeças é o mais intensivamente explorado na área. Por causa da escassa cimentação entre os grânulos que compõem os espessos pacotes de arenitos, ele tem boa permeabilidade primária, principalmente na área de recarga.

O confinamento da formação Cabeças ocorre através do aquitardo Longá, produzindo um progressivo aumento de carga hidráulica em direção ao centro da bacia. O sistema aquífero Cabeças apresenta características de freático entre Redenção do Gurguéia e Bom Jesus onde ele é coberto apenas por aluviões recentes e/ou antigos do rio Gurguéia, que somente produzem características de semi-confinamento.

Segundo o relatório da AQUATER (1993), o fraturamento regional produziu um denso retículo de fraturas e/ou falhas na parte oriental do Vale do Gurguéia, sobretudo na formação Cabeças. Este fraturamento, embora seja diferente nas três formações por causa da composição litológica diferente, permite um fluxo vertical conectando hidraulicamente os aquíferos.

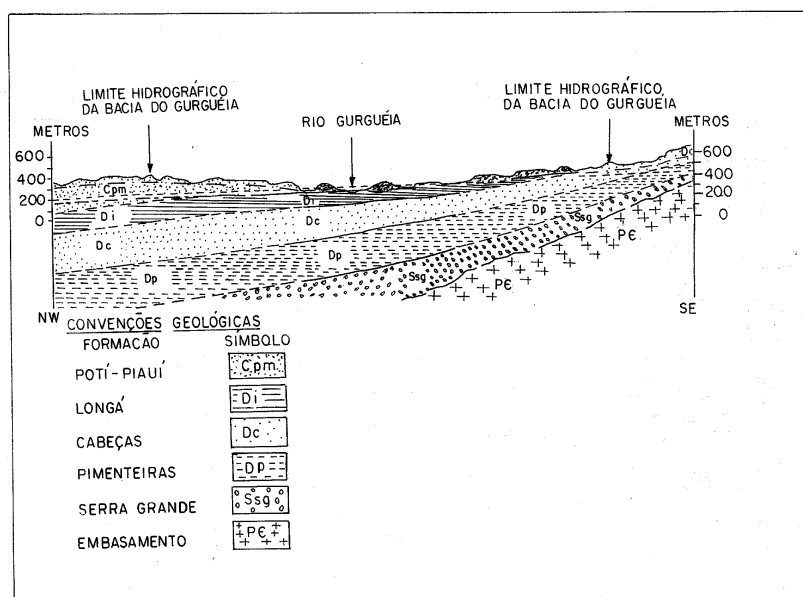


FIGURA 2 – Perfil geológico esquemático da área estudada no Vale no Gurguéia Fonte: COTEP, 1973).

Na área de estudo poucos poços atingem o aquífero Serra Grande por causa da elevada profundidade deste.

A atividade tectônica intensa observada na área, descrita no projeto RADAMBRASIL, ocorreu em várias fases. A primeira produziu falhas localizadas ao longo do rio Gurguéia, na área ao sul de Bom Jesus, principalmente do lado direito, como mostra a parte inferior da figura 3.

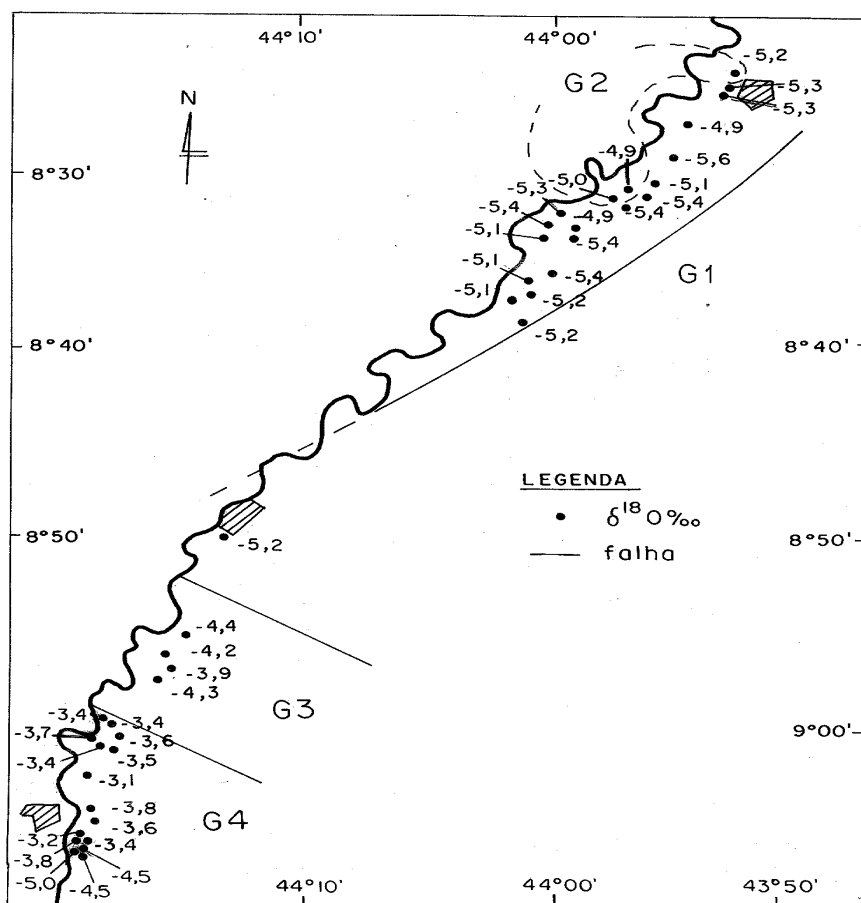


Figura 3 – Distribuição espacial dos valores de $\delta^{18}O$ com indicação das falhas/fraturas e identificação dos grupos G1 a G4.

RESULTADOS E INTERPRETAÇÃO

A tabela 1 apresenta as localizações dos poços amostrados ao longo do rio Gurguéia entre os municípios de Bom Jesus e Alvorada do Gurguéia, juntamente com a

condutividade elétrica, medidas dos isótopos oxigênio-18 e deutério e identificação do aquífero.

Chama atenção a excelente qualidade das águas dos poços amostrados. A condutividade elétrica, que mede sumariamente a concentração de sais dissolvidos (onde 1 meq de íons produz aproximadamente 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$), é menor que 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em 37 dos 40 poços pesquisados. Para confirmar valores tão baixos de condutividade realizamos, medidas repetidas com equipamentos diferentes e todos os dados mostraram sempre os valores descritos na tabela, revelando águas tão pouco mineralizadas que são muito raras no Nordeste e não são encontradas no cristalino, onde a salinidade é maior por várias ordens de grandeza.

Todos os 40 poços exploram o sistema aquífero Cabeças. São exatamente os três de maior condutividade elétrica que também captam água do aquífero mais profundo Serra Grande, certamente responsável pela elevação da salinidade (G2 na figura 3). Neste último aquífero, a condutividade cresce da área de recarga, no extremo leste do Piauí, com a distância desta (Santiago et al. 1982). É um exemplo claro de salinização por dissolução no aquífero; quanto mais velha a água maior a salinidade.

TABELA 1 - Localização dos poços amostrados no Vale do Gurguéia - Pi, condutividade elétrica (CE), dados isotópicos e identificação do aquífero explorado. AG: Alvorada do Gurguéia, BJ: Bom Jesus, Cab: Cabeças, CC: Cristino Castro, SG: Serra Grande, SL: Santa Luz.

Nº	Localidade		CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)	Aquífero
07	Santa Fé	- AG	505	-5,2	-30,7	Cab /S.G
08A	Bom Lugar I	- AG	39	-5,3	-	Cab.
08	Bom Lugar II	- AG	36	-5,3	-	Cab.
10	Fz. Anda Só	- AG	35	-4,9	-27,9	Cab.
11	Fz. Rosário I	- AG	43	-5,6	-	Cab.
12	Fz. Rosário II	- AG	24	-5,1	-	Cab.
13	Fz. Violeto	- AG	20	-5,4	-	Cab.
14	Violeto I	- AG	107	-4,9	-32,3	Cab /S.G
15	Violeto II	- AG	388	-5,0	-30,0	Cab /S.G
16	Violeto (Gigante)	- AG	16	-5,4	-	Cab
17	Fz. Carretão	- AG	49	-5,3	-	Cab
18	Fz. Curvina II	- AG	34	-5,4	-	Cab

19	Fz. Curvina I	- AG	13	-4,9	-34,9	Cab
20	Fz. Pedrinhas I	- AG	43	-5,1	-32,6	Cab
21	Fz. Curvina III	- AG	18	-5,4	-	Cab
22	Umburana I	- CC	38	-5,4	-	Cab
23	Umburana II	- CC	34	-5,1	-	Cab
24	Umburana III	- CC	35	-5,2	-	Cab
25	Fz. Enseada	- CC	37	-5,1	-	Cab
26	Fz. Angical II	- CC	38	-5,2	-	Cab
35	O Carro	- CC	28	-5,2	-	Cab
42	Fz. Cajazeiras	- SL	50	-4,4	-23,1	Cab
43	Escalvado Grande II	- SL	48	-4,2	-	Cab
44	Escalvado Grande I	- SL	43	-3,9	-21,9	Cab
45	Escalvado Grande III	- SL	43	-4,3	-	Cab
47	Melancias III	- SL	21	-3,4	-	Cab
48	Melancias II	- SL	22	-3,4	-	Cab
49	Buriti I	- SL	19	-3,7	-19,0	Cab
50	Melancias I	- SL	22	-3,6	-	Cab
51	Buriti III	- SL	20	-3,5	-16,3	Cab
52	Buriti II	- SL	20	-3,4	-16,1	Cab
53	Fz. Esperança I	- BJ	24	-3,1	-	Cab
54	Fz. Barrocão IV	- BJ	18	-3,8	-19,5	Cab
55	Fz. Barrocão V	- BJ	18	-3,6	-19,3	Cab
56	Fz. Barrocão I	- BJ	18	-3,2	-	Cab
57	Fz. Barrocão II	- BJ	17	-3,4	-14,8	Cab
58	Fz. Barrocão III	- BJ	15	-3,8	-21,2	Cab
59	Cibrazém I	- BJ	30	-4,5	-	Cab
60	Haras Aracy Lustosa	- BJ	29	-5,0	-	Cab
61	Brejinho	- BJ	28	-4,5	-	Cab

Assim, associa-se, normalmente, baixa salinidade com águas jovens. Porém, observando os valores de $\delta^{18}\text{O}$ vê-se que, no aquífero Cabeças, mesmo paleoáguas (com idade maior que $\approx 10\ 000$ anos) são poucas mineralizadas. Valores menores que -4‰ acusam claramente a presença de paleoáguas derivadas de chuvas ocorridas há mais que 10.000 anos antes de hoje, quando a temperatura na região era em torno de 5°C mais baixa que a atual (Geyh et al. 1991). Desta forma, somente os poços no canto esquerdo inferior (marcados com G4 nas figura 3) exploram água holocênica. Todos os outros mostram claramente contribuições do pleistocênio. É evidente que, para uma exploração sustentável do recurso, um cuidadoso estudo do aquífero se faz necessário.

Observando a distribuição espacial dos valores $\delta^{18}\text{O}$ na figura 3 e a relação entre este parâmetro e condutividade elétrica na figura 4 é clara uma divisão em grupos marcados de G1, G2, G3 e G4. O grupo 2 que se destaca na figura 4 pela condutividade elevada, representa os três poços que misturam água dos aquíferos Cabeças e Serra Grande discutidos antes. O grupo 1 constituído por paleoáguas (com $\delta^{18}\text{O}$ entre -4‰ e $-5,6\text{‰}$) testemunham a mudança climática ocorrida no final do Pleistocênio. G4 contém água, preferencialmente, holocênicas enquanto G3 representa misturas de águas holocênicas com pleistocênicas (com $\delta^{18}\text{O}$ em torno de $-3,5\text{‰}$).

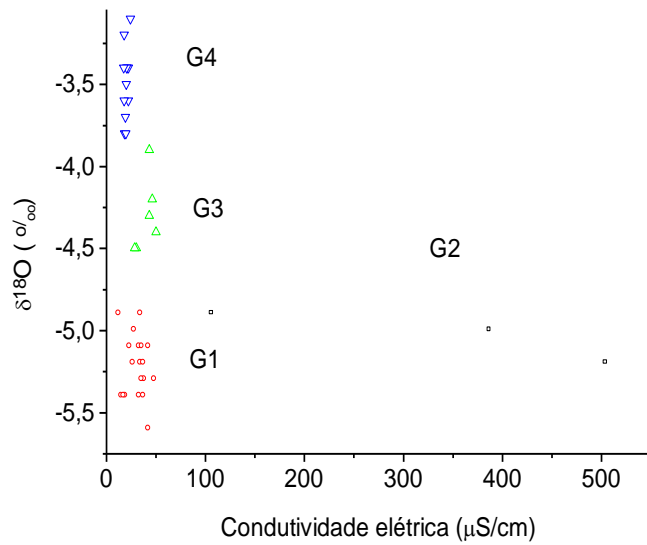


FIGURA 4 - $\delta^{18}\text{O}$ em função da condutividade elétrica em poços no Vale do Gurguéia

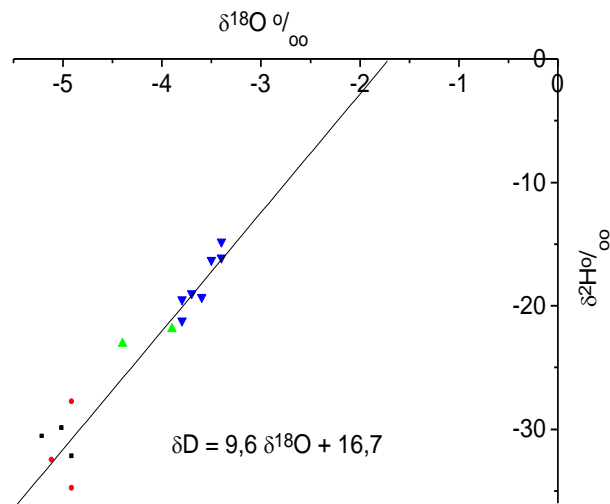


FIGURA 5 - $\delta^2\text{H}$ em função de $\delta^{18}\text{O}$ em poços do Vale do Gurguéia

Na figura 5 onde estão plotados δD versus $\delta^{18}\text{O}$, reconhece-se nos extremos, as paleoáguas dos grupos G1 e G2 e as águas holocênicas de G4, interligados por uma reta de mistura entre estes grupos, formando o grupo G3. É notável que estes dois últimos

grupos são separados por feições tectônicas que, obviamente, exercem uma forte influência sobre as condições de fluxo regional da água no aquífero Cabeças.

CONCLUSÕES

Os dados isotópicos revelam grupos de dados oriundos de distintas condições de armazenamento subterrâneos.

Destaca-se a presença de paleoáguas, onde processo de mineralização não está presente, distinguindo estas águas das demais paleoáguas do NE brasileiro.

Observou-se também águas de armazenamento recente e outro grupo no qual houve mistura de paleoáguas com águas recentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à instituições FUNCAP, CNPq, SEPLAN-Pi, pelas condições para realização deste trabalho, aos laboratórios do CENA, Piracicaba, pelas análises de oxigênio-18 e deutério, ao LASO/UFPI e ao Laboratório de Solos da UFC, pelas análises hidroquímicas.

REFERÊNCIAS

- AQUATER – 1993 – Projeto: Estudo dos recursos hídricos subterrâneos do Vale do Gurguéia, no Estado do Piauí. *Relatório Geral*. Vol. 3, 40p.
- COTEP – 1973 – Estudos de reconhecimento do Vale do Gurguéia. Brasil, 72p.
- FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M.F. e TORQUATO, J.R. –1988- Dados isotópicos e hidroquímicos da porção oriental da Bacia Potiguar. *Anais do 5º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*. São Paulo, p. 144-153.
- FRISCHKORN, H. and SANTIAGO, M.F. – 1992- The Paleoclimate of Northeast of Brazil According to Isotope Hydrology. In: *Impacts of Climatic Variations and Sustainable Development in Semi-arid Regions (ICID)*, Fortaleza, 27/01 a 01/02/1992, 18p.
- GEYH, M. A.; STUTE, M.; FRISCHKORN, H. e SANTIAGO, M.F. –1991- Contribuição para a história climática do Nordeste do Brasil. In: *Base para o futuro: 20 anos de Cooperação Científica e Tecnológica*. Ed. KFA, Julich, Alemanha, p. 159 – 165.
- SANTIAGO, M.F.; RÄDE, H.; TORQUATO, J.R. e GARRETT, L. –1981- Idade e movimento das águas subterrâneas na região de Picos – Piauí (Bacia do Parnaíba) e sua evolução hidroquímica. In: *Estudo Hidrológico do Nordeste*. BNB. Série monografia, 3: 73-100.

- SANTIAGO, M.F.; FRISCHKORN, H. e TORQUATO, J.R. –1982-Medidas isotópicas e hidroquímicas nos aquíferos subterrâneos da região de Simplício Mendes. *Anais do XXXII Congr. Bras. de Geol.*, 4: 1727-1735.
- SANTIAGO, M.F.; FRISCHKORN, H.; SEREJO, A. N.; MENDES FILHO, J. and BRASIL. – 1992- Isotope composition of Cariri groundwater as indicator for the dynamics of aquifer recharge. *I Congresso Hidrogeológico Latinoamericano. ALHSUD. Compendio de Ponencias. Merida, Venezuela*, p.115 – 118.
- SANTIAGO, M.F.; SILVA, C.M.S.V.; MENDES FILHO, J e FRISCHKORN, H. –1994- Caracterização isotópica da água subterrânea na bacia sedimentar do Cariri.. *II Congresso Hidrogeológico Latinoamericano de Hidrologia Isotópica. Santiago do Chile, Vol. 2: 731-740.*
- SANTIAGO, M.F.; MENDES FILHO, J.; SILVA, C.M.S.V. e FRISCHKORN, H. –1996- Estudo Isotópico da Dinâmica dos Aquíferos do Cariri. In: *Projeto de Avaliação Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Araripe*, 101p. Recife. p.89-101.
- SANTIAGO, M.F.; SILVA, C.M.S.V.; MENDE FILHO, J and FRISCHKORN, H.-1997- Characterization of groundwater in the Cariri (Ceará/Brasil) by environmental isotopes and electric conductivity. *Radiocarbon*, 39 (1): 49-60.