

INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE ARIDEZ E DA LITOLOGIA NOS PROCESSOS DE SALINIZAÇÃO DAS ÁGUAS DO AQUÍFERO FISSURAL NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE.

Sylvio Péricles de Barros Oliveira¹ e Job Jesus Batista²

Resumo - A região semi-árida do Nordeste do Brasil apresenta sérios problemas de escassez de recursos hídricos, menos por sua baixa pluviometria do que pela concentração do período chuvoso em 3 a 5 meses do ano, além de flutuações acentuadas em relação às médias anuais, o que provoca o flagelo das secas. Outro elemento do clima que reduz substancialmente a disponibilidade hídrica é a evaporação, que produz perdas superiores a 80% das águas precipitadas. As ações dos Governos Federal e Estaduais, no que concerne ao aumento da oferta de água, têm se centrado na construção de barragens e perfuração de poços. Na região semi-árida, 60% de sua área é coberta por rochas cristalinas e os poços ali perfurados apresentam baixas vazões e águas com elevada salinidade. No presente trabalho, foi feito um estudo estatístico com os dados de perfís e análises químicas de 500 poços perfurados nas referidas rochas, que revelou uma grande influência do índice de aridez e da litologia nos processos de salinização.

Palavras-chave - aquífero fissural, salinização, água

INTRODUÇÃO

O Nordeste do Brasil, considerado como uma unidade administrativa, possui uma área da ordem de 1.600.000 km² e cerca de 60% desse território encontram-se em uma

¹ Departamento de Geologia – UFPE. Rua Acade Hélio Ramos, s/nº – Cidade Universitária Recife – PE – Fone 2718240 – Fax (081) 2718234

zona de maior aridez que sofre agravamentos climáticos periódicos, sendo por isso denominado “Polígono das Secas”.

No referido polígono, em 2/3 de seu espaço afloram rochas ígneas e metamórficas e as precipitações pluviométricas são iguais ou inferiores a 750 mm/ano. Mas a escassez de água é provocada menos pelas baixas médias de precipitação do que pela concentrações das chuvas em 3 a 5 meses do ano e, principalmente, pelas grandes flutuações que ocorrem em relação a essas médias. Em um período de seca muitas áreas podem chegar a ter apenas 30% de sua pluviometria normal (SUDENE, 1985).

Outro elemento do clima que reduz acentuadamente as disponibilidades hídricas é a evaporação, que provoca perdas superiores a 80% das águas precipitadas.

A baixa pluviometria faz com que os sais não sejam lixiviados e a alta evaporação, em certas condições, concentra os sais nas águas de superfície e subterrâneas.

Diversos trabalhos têm sido publicados sobre a salinização das águas dos poços tubulares perfurados em rochas cristalinas na região semi-árida do Nordeste, alguns em áreas restritas, outros em âmbito sub-regional e apenas um envolvendo globalmente toda a Região.

Esses estudos permitiram um entendimento mais amplo das variáveis que interferem na salinização. Contudo, apesar dos novos conhecimentos, muitas dúvidas ainda persistem.

Nos primeiros trabalhos realizados na década de 1960, foi dado sempre um destaque especial à contribuição que a rocha exercia na salinização, sendo, inclusive, recomendado por alguns autores que fossem evitados tipos litológicos em que predominassem minerais máficos.

Posteriormente, com a constatação de que o cloro constituía cerca de 50% dos elementos presentes nos sais dessas águas e a ausência em quantidades elevadas desse elemento nos minerais das rochas, a litologia foi sendo relegada a um papel secundário, chegando alguns trabalhos a considerá-la praticamente sem influência nos processos de salinização.

Rebouças (1973), analisando dados de análises química de água de chuva, em um perfil do litoral para o interior do Estado de Pernambuco, constatou que o elemento predominante era o cloro seguido do sódio. Posteriormente Leal et al. (1973), utilizando

² Departamento de Geociências – UNICAMP – Cidade Universitária “Zeferino Vaes” – Distr. Barão Geraldo – CAMPINAS – SP – Fone (091) 788 7280.

isótopos ambientais (^{18}O e D), concluíram que as águas armazenadas nas fendas das rochas cristalinas no semi-árido sofrem evaporação antes, durante e após sua penetração no subsolo. O presente trabalho está baseado em estudos de Oliveira(1998), onde foi realizado um tratamento estatístico em dados de 500 poços, distribuídos em vários estados do Nordeste, sendo todos eles perfurados com máquinas percussoras que fornecem uma melhor amostragem para identificação da litologia. Foram analisadas as influências do índice de aridez de Emmanuel De Martonne, que está ligado aos fatores climáticos e da litologia não só do ponto de vista químico, mas também físico à medida que concorre para favorecer ou não os processos de evaporação.

INFLUÊNCIA DO ÍNDICE DE ARIDEZ

Para o estudo da salinidade de acordo com o índice de aridez, foi utilizado o mapa de “Zoneamento Árido do Nordeste”, de Emmanuel De Martonne, in Cruz e Melo (1974), Figura 1. Ali estão indicadas sete zonas onde a aridez decresce da primeira para a sétima. Como exemplo, pode ser citada a zona 1, correspondente à faixa mais árida, que abrange as regiões do Curimataú e parte do Cariri, no Estado da Paraíba, além de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. Nessa zona, o índice de aridez varia de 0 a >10 . A fórmula para obtenção desse índice é a seguinte: $IA=P/(T=10)$, onde P é a precipitação média anual em milímetros e T a temperatura média anual em graus Celsius.

Pelas coordenadas geográficas de cada poço, foi retirada sua zona correspondente, e assim pôde ser feito em separado um estudo por cada zona, tomando-se por base sua média aritmética.

A análise dessa tabela mostra que a partir da 1ª para a 6ª zona o resíduo seco decresce, sendo que a queda mais pronunciada se verifica da primeira para a segunda zona, onde a redução é superior a 1.750 mg/ℓ. A queda da salinidade da quarta para a quinta zona é inexpressiva, sendo tão-somente 115 mg/ℓ. Tem-se que o cloro chega a elevar seu valor quando passa da 4ª. zona para a 5ª. e o magnésio e o sódio permanecem sem alteração. Andrade (1977) admite que as condições semi-áridas vão até a 4ª. zona de De Martonne. Entretanto, para efeito de salinização, nota-se que a 5ª. zona é ainda muito atuante, produzindo uma média de resíduo seco superior a 2.000 mg/ℓ. Somente quando se entra na 6ª. zona é que se tem uma queda abrupta da salinidade, pois aí observa-se uma precipitação pluviométrica bem maior, com lixiviação

dos sais. A queda na salinidade dessa zona foi testada com mais três amostras de pneumáticas e o resultado foi semelhante.

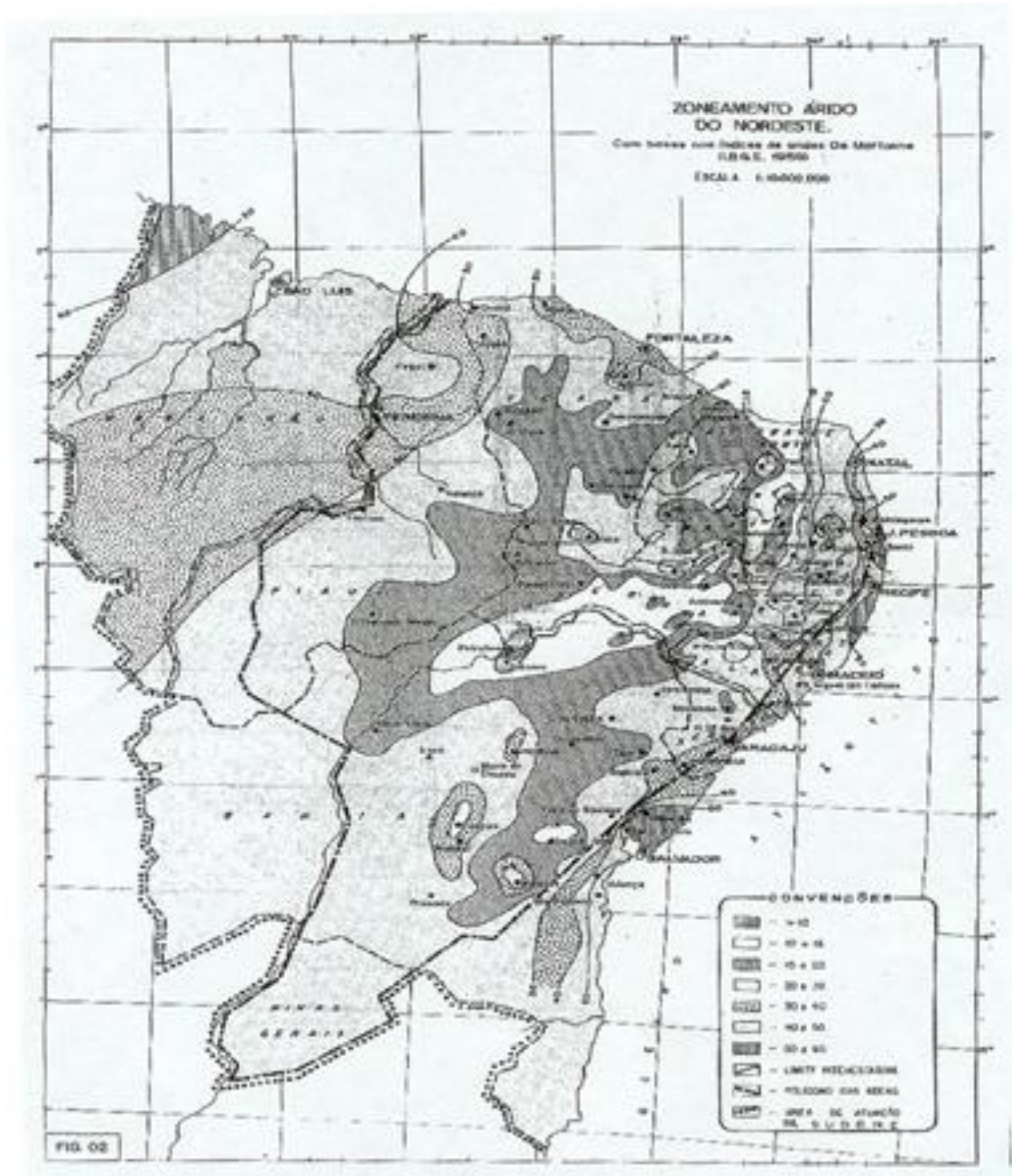


Figura 1 - zoneamento árido do nordeste

Fonte : cruz e melo (1974)

Tabela 1. Média aritmética dos íons com RS por Índice de Aridez

A

ZONAS DE ARIDEZ	VALORES DA MÉDIA (mg / l)						
	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	RS
1	273,9 (17)	186,4 (17)	1054,9 (17)	2384,7 (17)	161,4 (17)	395,9 (17)	5178,4 (17)
2	238,7 (107)	183,4 (107)	589,2 (107)	1574,9 (107)	116,2 (107)	387,2 (107)	3423,0 (107)
3	217,7 (187)	152,9 (187)	422,3 (187)	1174,6 (187)	113,8 (187)	351,2 (187)	2842,9 (187)
4	145,7 (164)	113,8 (164)	375,6 (164)	928,5 (164)	67,2 (164)	318,3 (164)	2272,8 (164)
5	120,5 (23)	113,5 (23)	375,7 (23)	943,8 (23)	33,4 (23)	235,9 (23)	2157,8 (23)
6	31,5 (2)	7,0 (2)	39,5 (2)	27,5 (2)	94,0 (2)	78,5 (2)	301,5 (2)

B

ZONAS DE ARIDEZ	VALORES DA MÉDIA (mg / l)						
	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	RS
1 + 2 + 3	243,4 (311)	174,2 (311)	688,8 (311)	1711,4 (311)	130,5 (311)	378,1 (311)	3814,7 (311)
4 + 5 + 6	99,2 (189)	78,1 (189)	263,6 (189)	633,3 (189)	64,9 (189)	210,9 (189)	1577,4 (189)

C

ZONAS DE ARIDEZ	VALORES DA MÉDIA(mg / l)						
	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	RS
1 + 2 + 3 + 4	219,0 (475)	159,2 (475)	610,5 (475)	1515,7 (475)	114,7 (475)	363,2 (475)	3429,3 (475)
5 + 6	76,0 (25)	60,2 (25)	207,6 (25)	485,6 (25)	63,7 (25)	157,2 (25)	1229,7 (25)

OBS: Os valores entre parênteses correspondem ao número de casos válidos

Na Tabela 1.B, foram reunidas as três zonas mais áridas e as três menos áridas, para se comparar os resultados. A média aritmética foi de 3.814 mg/ℓ para as primeiras e 1.577 mg/ℓ para as últimas, com uma elevação da salinidade nas faixas de maior aridez superior a 140%.

Na reunião das quatro primeiras zonas e as duas últimas, como visto na Tabela 1.C, o acréscimo da salinização é da ordem de 180%.

Resumindo, pode-se afirmar que, à medida que decresce a aridez, se observa uma queda na salinização, com uma intensidade muito forte da 1ª. zona para a 2ª. zona, porém a partir daí as reduções vão sendo atenuadas, e da 4ª. zona para a 5ª. zona quase não existe diferença. A variação da salinidade entre essas duas zonas é tão pequena que outros fatores que a influenciam podem produzir teores de resíduo seco mais elevados na 5ª. zona. Na 6ª. zona, como os sais são lixiviados, pouco importa a litologia, a circulação nas fendas, os tipos de cobertura, etc., ter-se-á sempre baixas salinidades nas rochas cristalinas.

INFLUÊNCIA DA LITOLOGIA

O estudo da litologia foi feito inicialmente para cada tipo litológico e depois associado ao índice de aridez. Os tipos litológicos estudados foram quartzito, calcário cristalino, calcário Bambuí, granito, migmatito, gnaiss, xisto, anfíbolitos e filitos (Tabela 2.A).

Na Tabela 2.B, observa-se a divisão das litologias em dois grupos: 1) quartzitos, calcário Bambuí, calcário cristalino e 2) granito, anfíbolito, migmatito, gnaiss, filito, xisto.

As primeiras produzem fraca mineralização, com a média de resíduo seco aumentando de 710 mg/ℓ para os quartzitos (mg/l) a 1.364 para os calcários cristalinos. As segundas vão de 2.053 nos xistos a 3.803,1(mg/l) para os granitos.

Em todas as litologias entre os ânions, há uma predominância da média do Cl^- sobre a média do HCO_3^- , tão mais acentuada quanto mais elevada é a salinidade, com uma única exceção que se observa no calcário Bambuí, onde o

Tabela 2: Média aritmética dos principais íons e resíduo seco por litologia

A

LITOLOGIA	VALORES DA MÉDIA						
	mg / l						
	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	RS
Quartzito	47,0 (11)	34,6 (11)	88,7 (11)	213,2 (11)	22,4 (11)	187,4 (11)	710,5 (11)
Calcário Cristalino	150,1 (8)	81,9 (8)	133,1 (8)	398,6 (8)	123,5 (8)	377,0 (8)	1364,6 (8)
Calcário Bambuí	113,9 (55)	51,3 (55)	53,7 (55)	175,5 (55)	96,9 (55)	319,1 (55)	916,0 (55)
Migmatito	209,2 (45)	183,3 (45)	553,3 (45)	1420,2 (45)	94,2 (45)	381,9 (45)	3309,1 (45)
Gnaisse	214,7 (267)	163,5 (267)	536,3 (267)	1408,1 (267)	101,2 (267)	356,0 (267)	3200,1 (267)
Xisto	172,5 (51)	102,5 (51)	322,6 (51)	823,7 (51)	102,5 (51)	325,7 (51)	2053,5 (51)
Filito	192,6 (5)	139,6 (5)	317,4 (5)	878,4 (5)	163,2 (5)	412,2 (5)	2389,8 (5)
Granito	223,6 (53)	188,6 (53)	682,5 (53)	1761,0 (53)	77,3 (53)	303,4 (53)	3803,1 (53)
Anfibolito	263,0 (5)	180,4 (5)	594,0 (5)	1591,4 (5)	97,8 (5)	401,4 (5)	3640,0 (5)

B

LITOLOGIA	VALORES DA MÉDIA						
	mg / l						
	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	RS
Quartzito + Calcário Cristalino + Calcário Bambuí	103,7 (74)	55,9 (74)	91,9 (74)	262,4 (74)	80,9 (74)	294,5 (74)	997,1 (74)
Migmatito + Gnaisse + Xisto + Anfibolito + Granito + Filito	212,6 (426)	159,7 (426)	501,0 (426)	1314,8 (426)	106,0 (426)	363,4 (426)	3067,9 (426)

OBS.- Os valores entre parênteses correspondem ao número de casos válidos

HCO₃⁻ é mais elevado. O SO₄⁻ apresenta valores baixos em todas as litologias, variando de 22 a 163 mg/l.

Os cátions têm um aumento progressivo com a mineralização e só nos níveis mais elevados se tem alguma oscilação. No grupo que produz alta salinidade e no quartzito, o Na⁺ tem valores bem maiores que o Ca⁺ e o Mg⁺. Nos calcários cristalinos e calcários Bambuí, os valores do cálcio são superiores ao Mg⁺ e Na⁺.

Na Figura 2, observa-se um gráfico do resíduo seco por tipo litológico, onde se tem um decréscimo constante dos granitos para os quartzitos. É impossível não se destacar o papel da litologia com respostas tão diferenciadas nos níveis de salinização.

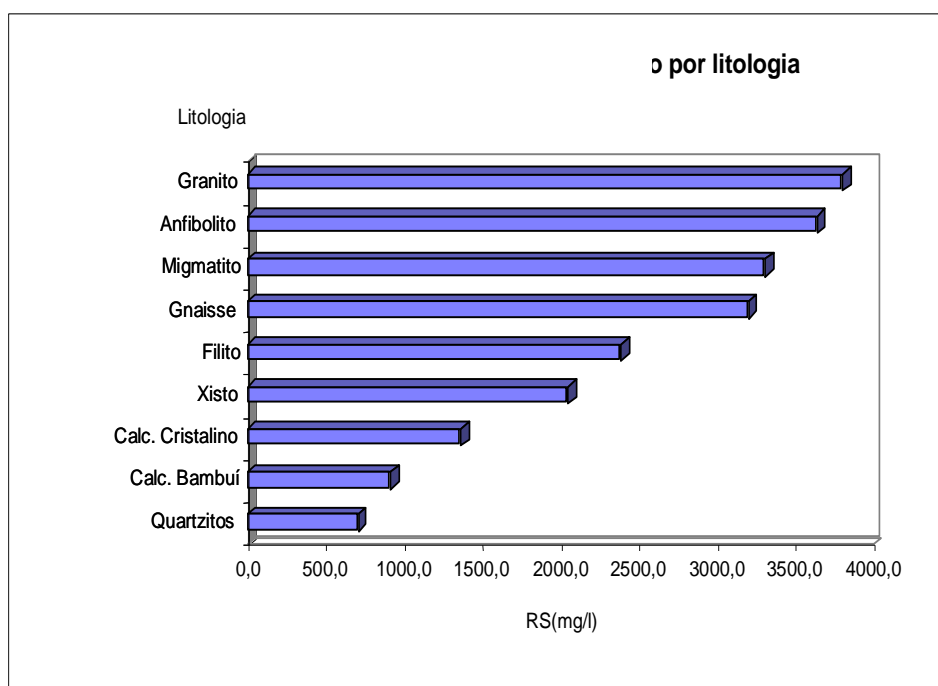


Figura 2 - Média aritmética do resíduo seco por diferentes litologias

Na Tabela 3, tem-se a reunião de litologias que menos salinizam e aquelas que produzem maiores salinidades, ficando evidenciado que na média das primeiras, onde predominam rochas carbonáticas, o HCO₃⁻ é maior que o Cl⁻ e entre os cátions o Ca⁺ predomina. No outro grupo, ocorre o inverso. A média de resíduo seco desse grupo (3.067 mg/l) é mais de três vezes superior àquela do primeiro (997,1 mg/l).

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO CONJUNTA DO ÍNDICE DE ARIDEZ E LITOLOGIA

Foi feito um estudo dos dois grupos de rochas, ou seja, aqueles que mais e os que menos salinizam por índice de aridez. Os resultados estão expostos na Tabela 3.

Na Tabela 3.A observa-se que a reunião das zonas mais áridas (1^a, 2^a e 3^a) produz nas rochas que mais salinizam uma média do resíduo seco de 3.301 mg/l e as três últimas zonas (4^a, 5^a e 6^a), no mesmo grupo de rocha, uma média de salinidade de 2.808 mg/l. Isso mostra que o decréscimo da salinidade não é tão grande entre os dois agrupamentos da aridez, pois até a quinta zona a resposta da litologia à salinização é sempre alta. Como foi visto no exame de cada zona separadamente, somente da primeira para a segunda e da quinta para sexta zona é que se tem diferenças acentuadas nos teores do resíduo seco.

Nas rochas que menos salinizam, essa queda da salinidade nos dois grupos de aridez é de 1.263 para 811 mg/l.

A reunião das primeiras, segundas, terceiras e quartas zonas de aridez em um grupo e das quintas e sextas em outro mostrou que se tem no grupo de rochas que mais salinizam 3.190 e 2.264 mg/l. Constata-se assim que nos dois agrupamentos das zonas mais áridas (1^a, 2^a e 3^a; e 1^a, 2^a, 3^a e 4^a) houve apenas um pequeno decréscimo nessa última de 111 mg/l, sendo a queda de salinidade nesses mesmos grupos de rochas nos índices de aridez mais amenos (4,5,6 e 5,6) bem mais acentuadas, (544 mg/l) em virtude da maior influência da 6^a zona onde a salinidade é muito baixa. Nas rochas que menos salinizam, a variação nos primeiros agrupamentos da aridez (1^a, 2^a, 3^a; e 4^a, 5^a, 6^a zonas) é,

Tabela 3 - Média aritmética dos principais íons com resíduo seco por índice de aridez e litologia

A

Zonas de aridez e litologia	VALORES DA MÉDIA (mg / l)						
	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	RS
1, 2, 3 Calcários/ Quartzitos	151,4 (20)	67,5 (20)	117,9 (20)	359,5 (20)	152,3 (20)	322,2 (20)	1263,6 (20)
1, 2, 3 Migmatito, Gnaiss Xisto, Filito, Granito e Anfibolito	233,3 (291)	172,0 (291)	541,5 (291)	1448,5 (291)	114,8 (291)	369,1 (291)	3301,1 (291)
4, 5, 6	91,8	46,4	48,8	148,0	65,1	299,7	811,9

Calcários/ Quartzitos	(54)	(54)	(54)	(54)	(54)	(54)	(54)
4, 5, 6							
Migmatito, Gnaiss Xisto, Filito, Granito e Anfibolito	161,3 (135)	139,2 (135)	504,3 (134)	1230,0 (135)	62,7 (135)	308,2 (135)	2808,4 (135)

B

Zonas de aridez e litologia	VALORES DA MÉDIA (mg / l)						
	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄	HCO ₃	RS
1, 2, 3, 4 Calcários/ Quartzitos	109,4 (70)	53,3 (70)	69,2 (70)	213,1 (70)	91,1 (70)	303,5 (70)	949,0 (70)
1, 2, 3, 4 Migmatito, Gnaiss Xisto, Filito, Granito e Anfibolito	215,2 (405)	163,8 (405)	535,0 (405)	1397,7 (405)	101,5 (405)	357,5 (405)	3190,7 (405)
5, 6 Calcários/ Quartzitos	82,5 (4)	31,3 (4)	37,8 (4)	66,0 (4)	46,5 (4)	346,0 (4)	671,0 (4)
5, 6 Migmatito, Gnaiss Xisto, Filito, Granito e Anfibolito	119,2 (21)	119,0 (21)	408,0 (21)	1023,7 (21)	36,7 (21)	199,9 (21)	2264,2 (21)

OBS: Os valores entre parênteses correspondem ao número de casos válidos

respectivamente, 1.263 e 811 mg/l. E no segundo agrupamento (1^a, 2^a, 3^a e 4^a; e 5^a, 6^a zonas), a variação é 949 e 671 mg/l. Observa-se que nas rochas que menos salinizam há um aumento maior. Nota-se nos dois agrupamentos das zonas de aridez que todos os íons sofrem decréscimo na média de seus teores naqueles mais amenos.

Na Figura 3, tem-se o grupo de litologia que produz baixa mineralização e aqueles de mais alta salinidade plotadas suas médias de resíduo seco contra o índice de aridez. O primeiro vai da 2^a. à 5^a zona, enquanto o segundo abrange amostras da 1^a. à 6^a. zona. Examinando o comportamento do primeiro grupo, vê-se que há uma redução gradual e pequena do resíduo seco, à medida que a aridez decresce, e no segundo os resíduos são elevados e a queda da salinidade é mais acentuada. Constata-se que, na 2^a zona de aridez, os valores das médias de resíduos seco dos quartzitos e

calcários (1.561 mg/ℓ) são bem menores que aqueles do outro conjunto de rochas na 5ª zona de aridez (2.470 mg/ℓ). Nota-se também que a salinidade do primeiro grupo de litologias é bem inferior àqueles de segundo e tendem para a convergência na sexta zona, de vez que ali os sais são todos lixiviados, independentemente dos tipos litológicos.

CONCLUSÕES

1 - Há um zoneamento climático mostrado pelo decréscimo contínuo da salinidade da primeira para a última zona de aridez.

Esse decréscimo é muito acentuado da primeira para a segunda zona de De Martonne e vai diminuindo essa diferença à medida que se tem áreas com clima mais ameno. As condições para que haja uma resposta dos vários fatores para se ter salinização elevada persistem até a 5ª zona de aridez. Na 6ª zona, as precipitações são maiores e os sais são lixiviados, sendo a água de boa qualidade.

Em grandes áreas, em geral, há uma certa homogeneidade do conjunto da litologia, que responde em termos médios a um decréscimo do resíduo seco à

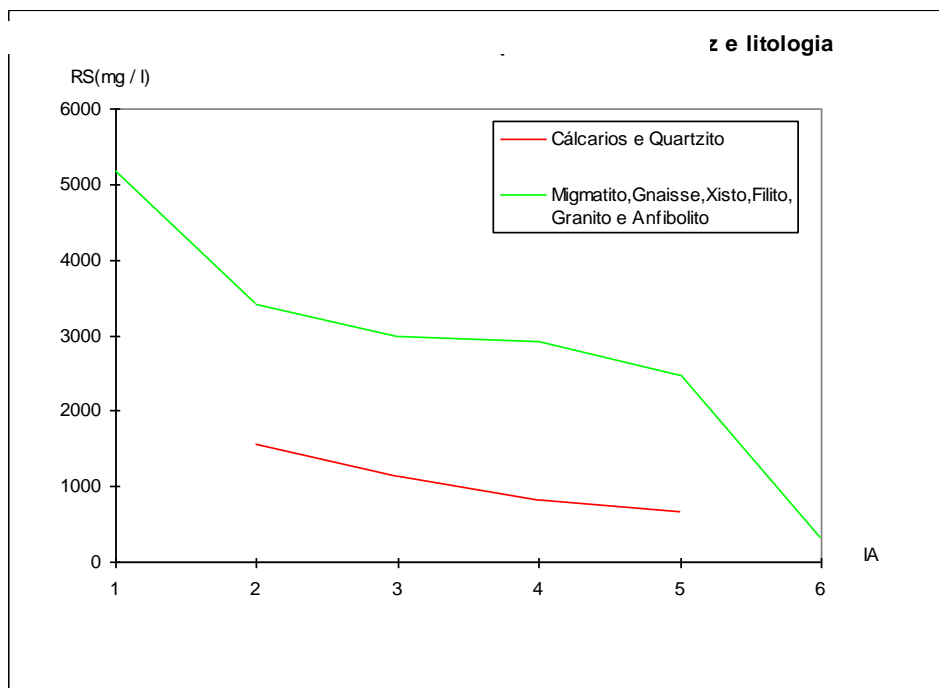


Figura 3 - resíduo seco por índice de aridez e litologia

medida que as condições climáticas vão se tornando mais amenas. Em áreas menores, pode, mais facilmente, haver um conjunto de rochas com águas mais salinizadas que em uma outra situada em climas mais amenos.

2 – A litologia apresenta uma resposta no que se refere à salinização tão mais diferenciada quanto maior é o rigor climático. Sendo o cloro o elemento mais abundante nas águas do aquífero fissural no semi-árido do Nordeste e não existindo cloro em abundância nas rochas que ocorrem regionalmente, e sua origem, como já foi mencionado, provém das águas de chuvas e a elevação de seu teor está ligada a evaporações sucessivas.

Assim pode ser afirmado, que a não ser em litologias bastante solúveis, como nos carbonatos, o comportamento físico das rochas no sentido de propiciar uma maior salinização mediante a evaporação é mais importante que a dissolução química. Litologias que produzem solos arenosos com os quartizitos onde a água penetra no subsolo mais facilmente e, mesmo nas zonas de maior aridez, fica livre da evaporação, e suas águas apresentam melhor qualidade do que aquelas que propiciam taxas elevadas de evaporação como os granitos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE , Gilberto Osório de. **Alguns aspectos do quadro natural do Nordeste.** Recife; Sudene, 1977. 75p. (Brasil. Sudene. Estudos Regionais, 2).
- CRUZ, W.B.; MELO F.A. **Estudo Geoquímico preliminar das águas subterrâneas no Nordeste do Brasil.** Recife: SUDENE, 1974. 125p. (Hidrogeologia, 19).
- LEAL, J.M. et al. **Caracterização da Águas no Nordeste Brasileiro com Isótopos ambientais.** Recife: SUDENE, 1973. 36p. (Hidrogeologia, 47).
- OLIVEIRA, S.P. de B. **Estudo dos Processos de Salinização da Águas Subterrâneas do Cristalino do Nordeste.** Rio Claro-SP, 1998. 151p. Tese de doutorado .UNESP, Instituto de Geociências.
- REBOUÇAS, A. da C. **Le problème de l'eau dans la zone semi-aride du Brésil: evaluation des ressources, orientation pour la mise en valeur.** Strasbourg, 1973. 291p. Tese de doutorado. L'Université Louis Pasteur de Strasbourg.
- SUDENE. **Catálogo de Poços do Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste** . Recife: SUDENE, 1970-1978.
- SUDENE. **Recursos Naturais do Nordeste, Investigação e Potencial. (sumário de atividades)** 4.ed. Recife – 1985. 195p.