



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO FEDERAL - EFEITO DE  
SAZONALIDADE E CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS AOS ISÓTOPOS DE  
DEUTÉRIO, OXIGÊNIO E CARBONO**

**WESLEY LUIS PACHECO**

**Dissertação de Mestrado em Geologia nº 287**

**BRASÍLIA – DF**

**2012**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO FEDERAL - EFEITO DE  
SAZONALIDADE E CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS AOS ISÓTOPOS DE  
DEUTÉRIO, OXIGÊNIO E CARBONO**

**WESLEY LUIS PACHECO**

**Dissertação de Mestrado em Geologia nº 287**

**BRASÍLIA – DF**

**2012**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO DISTRITO FEDERAL - EFEITO DE  
SAZONALIDADE E CARACTERÍSTICAS ASSOCIADAS AOS ISÓTOPOS DE  
DEUTÉRIO, OXIGÊNIO E CARBONO**

**WESLEY LUIS PACHECO**

**Dissertação de Mestrado em Geologia nº 287**

**Orientador:**

**Prof. Dr. Roberto Ventura Santos**

**Banca examinadora:**

**Prof. Dr. José Eloi Guimarães Campos**

**Prof. Dr. Antônio Expedito Gomes de Azevedo**

**BRASÍLIA – DF**

**2012**



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente àqueles que permitiram hoje fazer este agradecimento, que foram precursores de toda a construção de minha vida, que não negligenciaram em minha formação como homem, cristão, estudante e cidadão, meus pais, Dilhermon Pacheco Filho e Maria Aparecida de Almeida Pacheco e aos meus irmãos por fazerem acreditar em mim mais do que eu propriamente esperava.

Agradeço à minha amada esposa Edna Maria Teodoro Pacheco pela sua imensa compreensão e apoio nesta etapa e também por me estimular em meus propósitos. À minha adorável filhinha Mariana e ao vindouro e esperado João Pedro que se dedicaram a este trabalho.

Pela minha vida estudantil agradeço a todos os Docentes formais ou informais de todos os níveis que fizeram parte desta caminhada desenvolvendo em mim competências que permitiram a credibilidade a outros e puderam impulsionar-me cada vez mais no alcance dos meus objetivos pessoais, profissionais e acadêmicos.

No desenvolvimento desta pesquisa agradeço ao Paulo Queiroz de Araújo pelo seu comprometimento, dedicação e boa vontade com a etapa de coleta das amostras juntamente com Letícia Lemos de Moraes e Michelle Mota de Souza, parceiros da CAESB nesta pesquisa.

Agradeço a Bárbara Alcântara Ferreira Lima por iniciar meu interesse pelo estudo da área de interface Química/Geologia, no momento que passei a conhecer e fazer parte da Família Geocrono do LAIS/IG/UnB, sem sua confiança não seria possível ter seguido por esta via de ascensão acadêmica.

Ao meu orientador Roberto Ventura Santos, que apostou e estimulou meu desenvolvimento dando as condições e desafios necessários para a construção de novos conceitos e prática que resultaram neste trabalho.

Não podendo de forma alguma esquecer, o amigo Luis Mancini (Manso), que deu todo o apoio ao desenvolvimento da pesquisa, solucionando minhas deficiências para a boa compreensão dos métodos e conceitos adquiridos além de se tornar no



espaço curto de tempo um grande amigo o qual sempre recorri quando necessitei me adaptar ao contexto e rotina acadêmica.

Ao amigo de graduação Eduardo Carvalho pelo grande apoio incontestável nos processos de análises, ao amigo Murilo Quintans pelas conversas e cooperação durante este tempo, ao amigo Erico Bastos, à amiga Luciete e à amiga Poliana. Enfim a toda à família do Laboratório de Geocronologia da UnB que me acolheram e permitiram alcançar mais este objetivo. Ao Instituto de Química agradeço ao professor Marcelo Santos e demais docentes e ainda ao grande amigo Eduardo Ferreira Pereira que muito alentou às minhas primeiras indagações acadêmicas.

Gostaria de agradecer à Equipe de Conservação da Amazônia – ECAM, especialmente a pessoa de Vasco van Roosmalen pela sua confiança e aposta na importância deste trabalho para a Conservação do Meio Ambiente e a Sustentabilidade dos Recursos Naturais para a manutenção da vida.

Agradeço à Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB pelo apoio à pesquisa no acesso aos locais de amostragem e coleta, ao Laboratório de Isótopos Estáveis do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – LAIS/IG/UnB pela colaboração imediata na pesquisa e a Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal – FAPDF que também fomentou as iniciativas deste trabalho.



## RESUMO

A proposta deste trabalho é primeiramente entender o comportamento dos isótopos estáveis em águas subterrâneas do Distrito Federal, com o objetivo de traçar perspectivas sobre os fluxos lateral e vertical, tempo de residência e a memória de percolação. Para tal, em parceria entre a Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, Laboratório de Isótopos Estáveis do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – LAIS/IG/UnB e a Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal - FAPDF, 534 amostras de águas subterrâneas foram coletadas mês a mês durante o período de fevereiro de 2009 a dezembro de 2010 em 26 poços distribuídos em todo o DF, estes, com águas armazenadas no Domínio Fraturado. As 534 amostras resultaram em 1264 análises, sendo destas, 473 de  $\delta D$ , 455 de  $\delta^{18}O$  e 336 de  $\delta^{13}C$ . Os resultados foram interpretados distintamente e também correlacionados com a distribuição espacial dos poços, com a geologia, solos, usos e sistemas e subsistemas aquíferos. Nas correlações entre  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  foi possível compreender a dinâmica dos aquíferos do Distrito Federal, quanto ao período de equilíbrio e fluxos laterais. As curvas de correlação de  $\delta D/\delta^{18}O$  apresentaram inclinações e intercepto da ordenada na correlação  $\delta D/\delta^{18}O$  distintos para cada região da área de estudo refletindo a sensibilidade dos sistemas aquíferos quanto aos processos praticados em superfície, ou seja, é possível compreender a partir das análises isotópicas como o aquífero reage quanto à utilização ou forma de consumo de água pela população do DF. A interpolação dos dados de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  com suas respectivas latitudes e longitudes, permitiram a geração pelo método krigagem de espacializações periódicas da distribuição de valores nas quais, projetou-se variação relevante nas amplitudes dos sinais destes em função dos períodos sazonais. No último e primeiro trimestres de cada ano (altos índices de precipitação) define-se o período de perturbação dos sistemas aquíferos e os semestres centrais o período de homogeneização, que conseqüentemente sugere que no período de estiagem (considerado aqui de seis meses) ocorre o equilíbrio entre as águas subterrâneas do DF. Esta constatação implica também, sugerir que as águas dos referidos aquíferos possuem alta frequência de renovação e conseqüentemente direcionando para seu entendimento como águas joviais, porém faz-se ainda necessário a confirmação destes apontamentos com a inserção de outras técnicas que possam



suplementar as direções definidas pelas relações  $\delta D/\delta^{18}O$ . Com as análises de  $\delta^{13}C$  pouco pôde se avançar tendo em vista a falta de conhecimento dos sistemas aquíferos quanto a análises isotópicas das rochas de contato, conteúdo isotópico de carbono dos solos e dados estratigráficos específicos da região do Distrito Federal. Os valores de  $\delta^{13}C$  tiveram uma ampla faixa de variação de -2 a -22 ‰ que pode estar associada a diversos componentes desde a superfície até o sistema aquífero, com este panorama foi possível estabelecer um fluxograma de possibilidades de correlação com as faixas de variação do carbono para orientar novos estudos com intuito de aumentar o conhecimento dos aquíferos do Distrito Federal que possam colaborar com a gestão responsável e sustentável do Distrito Federal.

Palavras-chave: isótopos estáveis, hidrogeologia, água subterrânea, Distrito Federal.



## ABSTRACT

This study applies stable isotopes in the groundwater from Brasília, Federal District, aiming to understand its lateral and vertical flow, residence time and percolation memory. By partnership among the Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB, the Laboratório de Isótopos Estáveis do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – LAIS/IG/UnB and the Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal - FAPDF, a total of 534 samples of groundwater from 26 wells were collected monthly between February 2009 to December 2010. The samples resulted in 1264 tests, including 473 of  $\delta D$ , 455 of  $\delta^{18}O$  and 336 of  $\delta^{13}C$ . The results were correlated based on the spatial distributing of the wells and geology, soil, land uses, and aquifers systems and subsystems. The correlation between  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$  allows the observation of aquifer dynamics, as the equilibrium time and lateral flows. The  $\delta^{18}O$  and  $\delta D$  showed distinct slopes and *d-excess* values within DF, reflecting the sensibility of process practiced in surface, in other words, it is possible to understand with isotope analyses how the aquifer reacts to water use or consumption by the population of the DF. The interpolation of the data  $\delta D$  and  $\delta^{18}O$ , with its respective latitude and longitude, shows periodic surfaces in which is observed a relevant variation of the amplitude of the signals. In the first and last trimester of each year (high indices of precipitation) were defined the perturbation period and in the central trimesters were established the homogenization period, consequently suggesting that in the drought period (which last for 6 months) happens the equilibrium in the groundwater. This propose, give the direction that in the DF, the groundwater has high frequency of renovation, suggesting the joviality of this. It is important to notice that it is necessary to confirm this suggestion with other methods. The analysis of  $\delta^{13}C$  had little advances because of fall the isotope data about contact rocks, isotopic content of the soils and specific stratigraphic data of the Federal District region. The values  $\delta^{13}C$  had a wide range of variation of -2 to -22 ‰ that can be associated a several compounds from surface until the aquifer system. With this panorama was possible to establish flow possibilities with correlations about the range variation of the  $\delta^{13}C$ , suggesting new studies with the objective of increasing the knowledge about the aquifers systems of the Federal Districts that can give information to provide a responsible and sustainable management



of water resources in the region.

Keywords: isotope, stable, hydrogeology, groundwater, Distrito Federal.



## ÍNDICE

Agradecimentos.....	I
Resumo.....	III
Abstract.....	V
ÍNDICE.....	VII
Lista de abreviaturas e acrônimos.....	IX
Lista de quadros e tabelas.....	X
Lista de Figuras.....	XI
1    CAPÍTULO I.....	1
1.1    Introdução.....	1
1.2    Objetivos.....	5
1.2.1    Objetivo geral.....	5
1.2.2    Objetivos específicos.....	5
1.3    Estrutura da Dissertação.....	5
1.4    Área de Estudo.....	7
2    Capítulo II.....	15
2.1    Fundamentação Teórica.....	15
2.1.1    Considerações sobre o Ciclo da água.....	17
2.1.2    Considerações sobre a notação $\delta$ .....	19
2.1.3    O Estudo Isotópico na Interpretação de Fenômenos Naturais.....	19
2.1.3.1    Considerações acerca das razões isotópicas D/H e $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ .....	19
2.1.3.2    Considerações acerca da razão isotópica $^{13}\text{C}/\text{C}$ .....	28
3    Capítulo III.....	35
3.1    Metodologia.....	35
3.1.1    Amostragem e Procedimentos Analíticos.....	35
3.2    Padrões Utilizados.....	37
4    Capítulo IV.....	39
4.1    Resultados.....	39
4.1.1    Resultados das Análises de $\delta\text{D}$ .....	39
4.1.2    Resultados das Análises de $\delta^{18}\text{O}$ .....	46
4.1.3    Resultados das Análises de $\delta^{13}\text{C}$ .....	53
5    Capítulo V.....	58
5.1    Discussão.....	58
5.1.1    Atenuação do Sinal Isotópico das Águas Meteoricas.....	58
5.1.2    Efeito no Excesso de Deutério dos Processos Superficiais - Irrigação.....	61
5.1.3    Sistema de Pulsação – Contribuição entre aquíferos no período de estiagem.....	72
5.1.4    O comportamento de $\delta^{13}\text{C}$ .....	77
6    Capítulo VI.....	88
6.1    Conclusão.....	88
7    Capítulo VII.....	91
7.1    Referências Bibliográficas.....	91



---

7.2	Apêndices.....	97
7.2.1	<i>Anexos</i> .....	97
7.2.1.1	Resultados do Desvio de Razão Isotópica de Carbono - $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ .....	97
7.2.1.2	Resultados do Desvio de Razão Isotópica de Deutério - $\delta^2\text{H}/^1\text{H}$ .....	106
7.2.1.3	Resultados do Desvio de Razão Isotópica de Oxigênio - $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ .....	118



## LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

- ADASA – Agência Reguladora de Água, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal.*
- CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal*
- D – símbolo representativo da espécie isotópica de massa atômica 2 do elemento químico hidrogênio*
- DF – Distrito Federal*
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária*
- FAPDF – Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal*
- GMWL – Global Meteoric Water Line ou Linha da Água Meteorológica Global*
- IAEA – International Atomic Energy Agency – Agência Internacional de Energia Atômica.*
- IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis.*
- IBRAM – Instituto Brasília Ambiental*
- IEMA – Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do Distrito Federal, atual IBRAM*
- IHP – International Hydrological Programme*
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia*
- ITCZ – Intertropical Convergence Zone*
- LAIS/IG – Laboratório de Análises de Isótopos Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília*
- LMWL – Local Meteoric Water Line ou Linha da Água Meteorológica Local*
- SPMP – Superfície Potenciométrica do Meio Poroso*
- SPMF – Superfície Potenciométrica do Meio Fraturado*
- UnB – Universidade de Brasília*
- WMO – World Meteorological Organization – Organização Mundial de Meteorologia*
- <sup>18</sup>O - símbolo representativo da espécie isotópica de massa atômica 18 do elemento químico oxigênio*
- <sup>13</sup>C – símbolo representativo da espécie isotópica de massa atômica 13 do elemento químico carbono*
- δ – símbolo representativo do desvio entre razões isotópicas em referência a um padrão oficial*



## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Conteúdo de água nos diversos reservatórios terrestres. Adaptado de Lécuyer et. al. (1998) .....	18
Quadro 2- Fracionamento obtido em processos de evaporação e condensação em sistemas abertos e adiabáticos. ....	22
Quadro 3 - Área ocupada por alguns biomas terrestres e quantidade de carbono estocada no solo e na serapilheira desses biomas. Adaptado de Martinelli et al. (2009).....	30
Quadro 4 - Padrões utilizados no trabalho com seus valores de referência .....	37
Quadro 5 - Variação da medida dos padrões em relação ao valor de referência para Deutério .....	37
Quadro 6 - Variação da medida dos padrões em relação ao valor de referência para Oxigênio .....	38
Quadro 7 - Relação de poços amostrados por sistemas aquíferos. Fonte:Caesb – Relatórios finais de poços.....	81
Quadro 8 - Relação poço tipo de solo predominante nas proximidades do poço. Fonte: Gonçalves et al. (2009, apud EMBRAPA, 1978).....	82
Quadro 9 – Relação entre os sistemas aquíferos, geologia, poços, uso do solo, rota de percolação sugerida e sinal de $\delta^{13}\text{C}$ nas amostras de água subterrânea de cada poço. ....	87



## Lista de Figuras

Figura 1 – Simulação mundial do volume de captação e recarga de águas subterrâneas .....	3
Figura 2 - Mapa de isoietas do Distrito Federal.....	8
Figura 3 - Geologia do Distrito Federal.....	10
Figura 4 - Modelo esquemático das duas superfícies potenciométricas.....	12
Figura 5 - Representação esquemática do modelo Físsuro-Cárstico.....	13
Figura 6 – Modelo de única superfície potenciométrica com confinamento.....	13
Figura 7 - Representação esquemática do modelo de superfície potenciométrica única sem confinamento.....	14
Figura 8 - Ciclo da água no globo terrestre .....	16
Figura 9 - Efeito de distância da costa ou continentalidade.....	24
Figura 10 - Relações entre $\delta D$ e $\delta^{18}O$ para a mistura estuarina e evaporação de água superficial.....	26
Figura 11 – Correlação de $\delta D$ e $\delta^{18}O$ nos sistemas aquíferos na província de Guanajuato - México.....	27
Figura 12 - O Ciclo do carbono .....	30
Figura 13 - Variação negativa de $\delta^{13}C$ de 1700 à 2000. ....	31
Figura 14 – Discriminação $\delta^{13}C$ para plantas $C_3$ e $C_4$ considerando as pressões parciais de $CO_2$ no ambiente ( $p_a$ ) e intracelular ( $p_i$ ). ....	32
Figura 15 – Composição isotópica de oxigênio e carbono de calcita de carbonatitos dos complexos de Jacupiranga, Araxá, Catalão, Tapira e Mato Preto obtidas por método de extração dupla. ....	33
Figura 16 – O ciclo do carbono. ....	34
Figura 17 – Acima, sala de análise de isótopos estáveis e abaixo coleta e estabilização de amostra para leitura de razão isotópica de $\delta^{13}C$ utilizando filtro de 22 $\mu m$ .....	35
Figura 18 - Distribuição de Delta Deutério .....	39
Figura 19 - Gráfico de variação de $\delta D$ de cada poço considerando a série de fevereiro de 2009 à novembro de 2010.....	40
Figura 20 - Variação de $\delta D$ no período chuvoso e de seca de 2009 .....	40
Figura 21 - Variação de $\delta D$ no período chuvoso e de seca de 2010 .....	41
Figura 22 - Variações de $\delta D$ nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço AQ-3A .....	41
Figura 23 - Variações de $\delta D$ nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço EPO-SBAT .....	42
Figura 24- Variações de $\delta D$ nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço SS-18 .....	42
Figura 25 - Correlação de altitude com razão isotópica de Deutério .....	43
Figura 26 - Razão isotópica de Deutério e a topografia do Distrito Federal, valores médio da série 2009 a 2010 .....	44
Figura 27 - Superfície de distribuição de $\delta D$ período de 2009 a 2010, valores médios da série 2009 a 2010 .....	44



Figura 28 - Série histórica de pluviometria do distrito Federal de 35 anos (1971 a 2006) versus valores de $\delta D$ .....	45
Figura 29 - Distribuição de $\delta^{18}O$ .....	46
Figura 30 - Gráfico de variação de $\delta^{18}O$ de cada poço considerando a série de fevereiro de 2009 à novembro de 2010.....	47
Figura 31 - Variação de $\delta^{18}O$ no período chuva e seca de 2009.....	47
Figura 32 - Variação de $\delta^{18}O$ no período chuva e seca de 2010.....	48
Figura 33 - Variações de $\delta^{18}O$ nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço AQ-3A .....	48
Figura 34 - Variações de $\delta^{18}O$ nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço EPO-SBAT.....	49
Figura 35 - Variações de $\delta^{18}O$ nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço SO-18 .....	49
Figura 36 - Correlação de altitude com razão isotópica de oxigênio.....	50
Figura 37 - Razão isotópica de Oxigênio e a topografia do Distrito Federal.....	51
Figura 38 - Superfície de distribuição de $\delta^{18}O$ no período de 2009 a 2010.....	51
Figura 39 - Série histórica de pluviometria do distrito Federal de 35 anos (1971 a 2006) versus valores de $\delta^{18}O$ .....	52
Figura 40 – Quantidade de análises de $\delta^{13}C$ por poço monitorado na série de 2009 a 2010. ....	53
Figura 41 - Distribuição dos valores de razão isotópica de Carbono-13 .....	54
Figura 42 - Faixa de variação de $\delta^{13}C$ , -2 a -13 ‰ e quantidade de análises de cada poço. ....	55
Figura 43 - Poços com valores de $\delta^{13}C$ na faixa de -2 a -13 ‰.....	56
Figura 44 - Segunda faixa de variação de $\delta^{13}C$ , -13 a -22,00‰ (faixa B) e quantidade de análises de cada poço nesta faixa. ....	56
Figura 45 - Posicionamento geográfico dos poços com valores de $\delta^{13}C$ na faixa de -13 a -22 ‰ (faixa B). .....	57
Figura 46 - Comparações entre a linha de água meteórica global (Craig, 1967), linha de água meteórica local (IAEA - WMO estação Aeroporto - Brasília) e sinal de razão isotópica da correlação $\delta D$ x $\delta^{18}O$ dos valores médios dos 26 poços monitorados durante os anos de 2009 e 2010 no presente estudo. ....	60
Figura 47 - Distribuição dos sistemas de irrigação com o método de pivô central. Hoje é possível identificar um número de 173 pivôs centrais no Distrito Federal com área média de 66 ha.....	63
Figura 48 - Comportamento das taxas de umidade relativa do ar durante o período de janeiro de 2009 à março de 2010. ....	64
Figura 49 - Comparação entre as correlações de $\delta D/\delta^{18}O$ da porção leste do Distrito Federal (poços: BUV, EPO-ITA, EPO-JAR, EPO-QN, EPO-TAB e EPO-TAQ2) enfatizando os períodos de seca e chuva. ....	66
Figura 50 - Correlação $\delta^{18}O$ x D de poços sobrepostos às áreas agrícolas do DF e de outros usos.....	67
Figura 51 - Separação das diferentes respostas de correlação entre $\delta D$ e $\delta^{18}O$ , em comparação ao efeito	



---

de sazonalidade e uso da terra. ....	69
Figura 52 - Diagrama de atenuação do sinal isotópico nos períodos sazonais .....	71
Figura 53 - Precipitação diária em mm de chuva no período de janeiro de 2009 a março de 2010. ....	74
Figura 54 – Distribuição espacial de $\delta D$ (esquerda) e $\delta^{18}O$ (direita) durante os 8 trimestres nos anos de 2009 e 2010. ....	76
Figura 55 – Reservatórios de carbono com os valores de $\delta^{13}C$ . Adaptado de Isotope Geochemistry – Lecture 26. Spring 2009. ....	78
Figura 56 - Proximidade entre as áreas de estudo do presente trabalho e do trabalho de Santos et al. (2000). ....	80
Figura 57 - Mapa geológico do Distrito Federal. Fonte: Instituto de Geociências – Universidade de Brasília, Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do Distrito Federal e Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA. ....	82
Figura 58 - Diagrama sugestivo de assimilação do sinal de $\delta^{13}C$ em solo com predominância de plantas $C_3$ .....	85
Figura 59 - Diagrama sugestivo de assimilação do sinal de $\delta^{13}C$ em solo com predominância de plantas $C_4$ .....	86



# 1 CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUÇÃO

A água é uma das principais substâncias que regulam o clima e consequentemente a vida, dada sua importância como elemento de função climática e diversificador da crosta terrestre. Em curto espaço de tempo as ações antrópicas têm interferido em suas condições a nível global e, nas últimas décadas, a demanda para o consumo humano nas condições de potabilidade e para o consumo industrial nos processos de beneficiamento tem aumentado consideravelmente projetando um futuro desafiador.

Apesar de ser um recurso natural abundante, uma vez que requer propriedades e qualidade suficientes, tem se tornado escasso em algumas regiões geográficas do globo e até mesmo em regiões com oferta de água e baixa capacidade de gestão de recursos hídricos. O aumento populacional é o grande desafio para a gestão deste recurso diante da contaminação de boa parte de suas reservas continentais tornando-se uma das principais preocupações da humanidade atualmente.

As principais fontes de água potável no mundo são os reservatórios subterrâneos, os quais em muitos países garantem os níveis suficientes para consumo. No entanto, sua utilização como fonte de água depende da boa gestão e principalmente na manutenção de seu ciclo de recarga. Na prática, os governos usam as águas subterrâneas para atender a demanda populacional em função do baixo custo de tratamento e infraestrutura necessária. Com visão imediatista, reduzido conhecimento sobre os sistemas aquíferos e incapacidade de fiscalização a sociedade (iniciativa pública e setores desenvolvimentistas) estimula a ocupação desordenada do solo, tornando vulnerável o sistema de recarga natural e a proteção da qualidade da água subterrânea. Este processo poderia ser revertido se as infraestruturas se antecipassem à ocupação do solo e com planejamento prévio e sério a adequação das áreas de uso fosse realmente favorável às reais necessidades da população. O que ocorre é que as grandes metrópoles necessitam de mão-de-obra acima da oferta local e não planejam ações que permitam a boa qualidade de vida. Desta forma, a ocupação desordenada do solo somada à falta de infra-estrutura tem como consequência principal e futura a



contaminação das fontes de água doce adequadas ao consumo humano.

A necessidade de se conhecer as especificidades dos aquíferos é urgente e complexa, porque cada aquífero possui comportamento próprio e não existem modelos de aplicação geral que orientem com confiabilidade os caminhos para a boa gestão. No Distrito Federal os aquíferos são formados por um domínio poroso que é superficial e um domínio fraturado profundo (rocha reservatório). O primeiro funciona como uma esponja que absorve mais rapidamente as águas meteóricas e, após o alcance de certo volume de água no período de chuva sob a ação de pressão hidrostática transfere parte de seu volume hídrico para o domínio fraturado. A superficialidade do domínio poroso torna-o mais vulnerável à contaminação e funciona como um sistema natural de proteção ao domínio fraturado (Campos, 2004). No entanto, na bacia do Rio São Bartolomeu, Distrito Federal, este sistema já apresenta sinais de saturação, sendo possível identificar níveis de contaminação no domínio fraturado, motivados pela falta de um sistema adequado de coleta, tratamento e destino de resíduos (Ferreira, 2010).

No processo de percolação esses resíduos acessam o domínio fraturado com conseqüências na qualidade da água armazenada nos aquíferos, fonte de água doce no Distrito Federal, principalmente nos períodos de estiagem. Em solos com grande capacidade de infiltração parte da água meteórica atinge os aquíferos garantindo a perenidade das águas superficiais na seca. Em áreas com baixa infiltração a maior parte da água meteórica escoava lixiviando o solo (empobrecendo o nível de nutrientes – fertilidade) e seguindo para os rios que retornam esta água para o oceano. A exploração de aquíferos tem aumentado nos últimos cinquenta anos o que tem modificado relação água subterrânea/água superficial e implica na continuidade dos sistemas aquíferos uma vez que a demanda por água subterrânea é crescente e pode não acompanhar a taxa de recarga dos aquíferos. Wada *et al.* (2010) em avaliação da redução da água subterrânea global utilizando o sistema PCR-GLOBWB estimou as taxas de recarga, captação e redução de águas subterrâneas para o ano de 2000, conforme pode ser observado na figura 1.

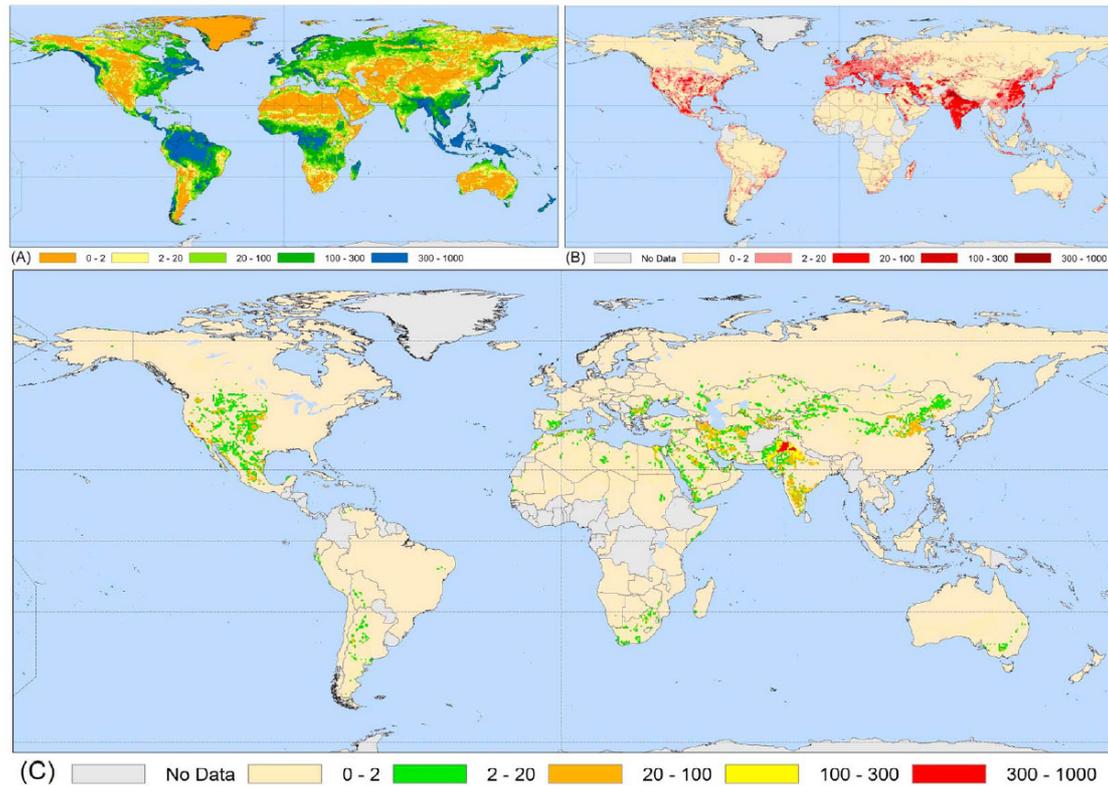


Figura 1 – Simulação mundial do volume de captação e recarga de águas subterrâneas

(a) média simulada da recarga de água subterrânea pelo PCR-GLOBWB, (b) captação de água subterrânea para o ano de 2000 e (c) redução de água subterrânea para o ano de 2000 (tudo em  $\text{mm a}^{-1}$ ). Fonte: Wada *et. al.* (2010).

Baseado na simulação de Wada percebe-se que a região do Distrito Federal possui uma taxa simulada de recarga de 2 a 100  $\text{mm a}^{-1}$  e uma taxa de captação de 0 a 20  $\text{mm a}^{-1}$ , o que o coloca em condição confortável. No entanto, a preservação destas águas é de suma importância tendo em vista a posição interiorana, necessitando de um fluxo migratório de vapores relevante, em referência ao continente e a seca com baixíssimas taxas relativas de umidade. Como o estudo de Wada *et. al.* (2010) foi feito em escala global provavelmente as taxas de recargas não devem levar em consideração as especificidades locais como a porcentagem de solo impermeabilizado e a eficiência na absorção da taxa de recarga.

Em muitos dos grandes centros urbanos a ocupação desordenada tem impermeabilizado os solos com grande capacidade de infiltração, selando áreas importantes para o abastecimento de aquíferos e aumentando o volume de retorno destas águas ao oceano. No caso do Distrito Federal 40% de seu território é compreendido por unidades de conservação, importante área de recarga, no entanto, 96,58% de sua população (2.570.160 habitantes) está concentrada em área urbana exercendo forte



pressão sobre os recursos naturais disponíveis, conforme dados do censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, disponível em (<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=21&uf=53>). O processo de ocupação desordenada se deu por meio da implantação de condomínios irregulares, que trazem grande preocupação quanto à preservação das áreas de recarga dos aquíferos locais. No estudo hidroquímico dos poços profundos da bacia do São Bartolomeu foi encontrada forte correlação entre compostos nitrogenados, condutividade elétrica, cloreto, sódio e potássio, sugerindo influência de águas residuais urbanas e insumos agrícolas (Ferreira 2010). Nos últimos 25 anos houve um aumento considerável na demanda de água subterrânea para atender a demanda de regiões localizadas fora do alcance do Sistema Integrado de Abastecimento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – Caesb (Ferreira 2010). Essa demanda tem aumentado a ponto de se planejar a utilização das águas do lago Paranoá como fonte de abastecimento, o que indica que a oferta de águas superficiais para consumo humano no Distrito Federal no momento é insuficiente.

Considerando a relevância dos aquíferos do Distrito Federal no abastecimento de água potável e manutenção da perenidade das águas superficiais, é de suma importância compreender a conexão sazonal entre as águas superficiais e profundas, bem como, os fluxos entre os domínios poroso e fraturado, o período de renovação das águas subterrâneas e a existência de interconexões entre os aquíferos do Distrito Federal. Diante de respostas para estas questões é possível propor as formas mais adequadas para manejo das águas subterrâneas existentes no Distrito Federal.



## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GERAL

Compreender a dinâmica de fluxos lateral e vertical de água dos aquíferos na região do Distrito Federal considerando, o tempo de estabilização ou equilíbrio destes. A definição desses parâmetros auxiliam a tomada de decisão e formulação de políticas públicas que visam garantir o uso responsável deste recurso e o atendimento das demandas hoje existentes no Distrito Federal.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender as interações entre as águas superficiais e subterrâneas tomando como referência as condições de sazonalidade;
- Inferir sobre os possíveis sistemas de fluxo das águas subterrâneas;
- Estabelecer possíveis relações entre os aquíferos regionais tendo como referência os gradientes de pressão entre estes;
- Analisar as interações entre as estruturas geológicas e o fluxo das águas meteóricas até a conexão com o aquífero;
- Relacionar os valores de  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$  e  $\delta^{13}\text{C}$  com o comportamento das águas subterrâneas, tendo como referência os sinais isotópicos das águas meteóricas e interação solo-água

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação inicia-se pelos temas introdutórios no *Capítulo I* com o objetivo de contextualizar as problemáticas principais quanto aos problemas urgentes, falta de conhecimento dos sistemas aquíferos do Distrito Federal, especificidades locais positivas e negativas, e debilidades na gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Em seguida faz-se uma descrição da área de estudo baseada nos trabalhos de Campos & Freitas (1998) com o direcionamento aos sistemas aquíferos do Distrito Federal; o uso do solo a partir do trabalho de Gonçalves *et al.* (2009) e por fim uma descrição da



hidrogeologia do DF a partir da proposição de modelos hidrogeológicos conceituais de Lousada & Campos (2005).

O *Capítulo II* apresenta a fundamentação teórica que objetiva estabelecer as bases para a crítica dos resultados. O *Capítulo III* descreve os métodos de amostragem e coleta, inclusive a instrumentação utilizada para a obtenção dos resultados das análises de isótopos estáveis. O *Capítulo IV* contempla a demonstração dos resultados observando a tendência de cada variável dando fundamentação aos *Capítulos V* e *VI*.

O *Capítulo V* é dedicado à discussão dos resultados, expressa o fenômeno de movimentação lateral e vertical das águas subterrâneas e também o reflexo ou sensibilidade das águas subterrâneas quanto aos processos superficiais. Com isso utiliza-se a variável *d-excess* e  $\delta^{13}\text{C}$  como fatores de memória sobre o uso da água e rotas de percolação.

O *Capítulo VI* trata da conclusão do trabalho orientando sobre a vulnerabilidade dos aquíferos quanto aos seus potenciais de comunicação ou interconectabilidade e uso de água nos processos de irrigação. Enfim, o *Capítulo VII* traz as referências fundamentadoras deste trabalho e lista dos resultados obtidos para as variáveis de  $\delta\text{D}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta^{13}\text{C}$ .



## 1.4 ÁREA DE ESTUDO

O Distrito Federal está compreendido entre os paralelos, 16° 03' e 15° 30' ao sul da Linha do Equador e meridianos aproximados de 47° 18' e 48° 17' a oeste do Meridiano de Greenwich, possui uma topografia acidentada com variações de altitudes entre 750 a 1.344 m conforme Gonçalves *et al.* (2009), com a maioria dos valores de altitude na faixa de 1000 a 1300 m. Estas variações colocam a capital, Brasília, em uma condição distinta, na qual se situa na parte estrutural do domo central ou em área de depressão em relação às chapadas e borda de chapada, esta configuração do relevo influencia os tipos climáticos aos quais podem estar associados os seguintes tipos de clima: Tropical Aw, Tropical de Altitude Cwa e Tropical de Altitude Cwb, conforme a classificação de Köppen (CODEPLAN 1994, *Apud* Lousada & Campos, 2005).

Quanto ao decorrer do ano, a região é marcada por dois períodos de forte sazonalidade devido à posição interiorana no continente. O primeiro, entre os meses de maio a setembro definido por baixas taxas de precipitação e, umidades relativas do ar, pouca nebulosidade e alta evaporação e, o segundo entre os meses de outubro a abril com um padrão contrastante (Lousada & Campos, 2005). O período entre outubro e abril, registra as maiores quantidades de precipitação e provoca altas taxas pluviométrica anuais variando de 700 a 1800 mm conforme avaliada por Gonçalves *et al.* (2009) em série temporal de pluviometria entre os anos de 1971 a 2006 a partir do monitoramento de 32 postos pluviométricos do Distrito Federal e entorno. Com os dados coletados neste período, Gonçalves *et al.* (2009) produziram a partir do método de interpolação o mapa de isoietas (figura 2) da referida região demonstrando a distribuição das quantidades de precipitação em toda a área do Distrito Federal, na qual a região de chapada contempla a maior quantidade de precipitação. A infiltração do volume de água durante o período de chuva nos sistemas aquíferos da região depende primariamente da condição de permeabilidade dos solos no domínio poroso e estruturas geológicas do domínio fraturado, este último tendo como maior relevância a quantidade e tipos de fraturas dispostas em rochas

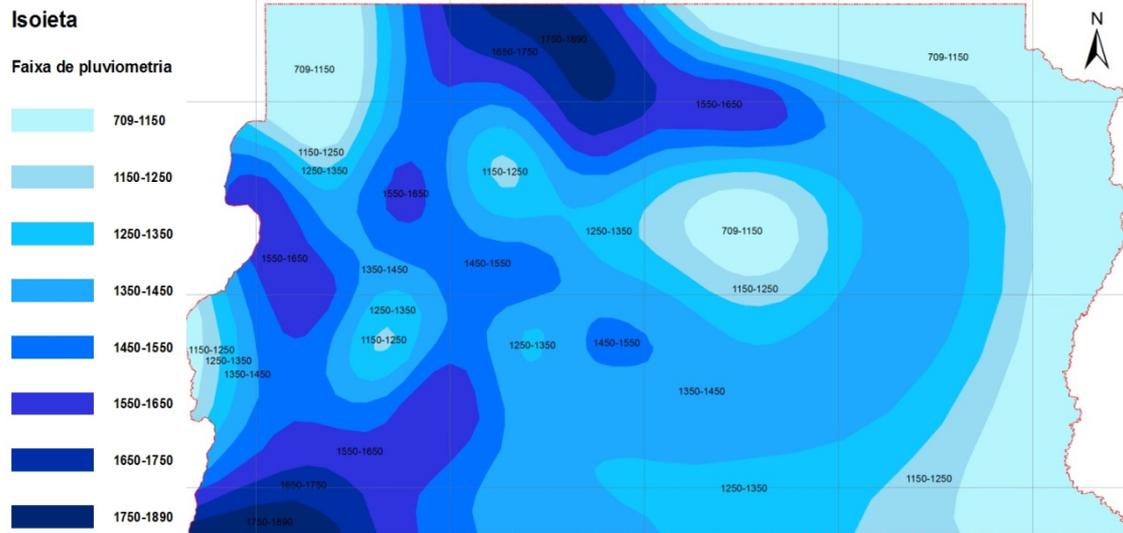


Figura 2 - Mapa de isoietas do Distrito Federal

Modificado de Gonçalves *et al.* (2009)

. Quanto aos tipos de solo do Distrito Federal, os primeiros levantamentos de campo com o estudo de vários perfis para a aptidão agrícola, identificaram majoritariamente três tipos principais de solos, Latossolo Vermelho, Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho-amarelo, representando 85 % da área do DF, conforme Embrapa (1978). Gonçalves *et al.*(2009), retratam os seguintes solos: Latossolo Vermelho (LV) e Cambissolo Háplico (CX), ocorrendo também solos do tipo Gleissolo Háplico (GX), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Nitossolo Vermelho (NV), sendo que as áreas mais urbanizadas estão sobre Latossolo Vermelho e as agrícolas sobre Cambissolo Háplico.

Considerando a taxa relativa de infiltração, Gonçalves *et al.* (2009) classificaram os solos em quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) com as seguintes características: Grupo A - Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e Neossolo Quartzarênico (RQ) possuem a maior taxa relativa de infiltração, sendo os mais propícios para a recarga dos aquíferos; Grupo B - Nitossolo Vermelho (NV), Argissolo Vermelho Eutrófico (PVe) e Chernossolo (MX), com taxa de infiltração moderada; Grupo C - (Plintossolo Pétrico (FF) e Nitossolo Flúvico (RU), com baixa taxa de infiltração e; solos do Grupo D - Cambissolo Háplico (CX) e Gleissolo Háplico (GX), com taxa de infiltração muito baixa. Apesar da alta taxa de infiltração dos solos do Grupo A, podem ocorrer situações nas quais a inclinação contribua mais para os sistemas de drenagem em função de escoamento superficial do que para a recarga de



aquíferos.

Em estudo sobre a qualidade de solo de amostras da Fazenda Água Limpa – DF, Araújo *et al.*(2007), separaram amostras de latossolo vermelho amarelo em distintas classes de uso: cerrado nativo, florestamento de pinus, pastagem natural, pastagem plantada e cultivo convencional. Relatam em seus resultados que o cerrado nativo é o que possui maior taxa de infiltração com  $204 \text{ cm h}^{-1}$ , seguido do florestamento de pinus com  $185 \text{ cm h}^{-1}$ , pastagem natural com  $5,7 \text{ cm h}^{-1}$ , pastagem plantada com  $5,3 \text{ cm h}^{-1}$  e por fim cultivo convencional com  $2,1 \text{ cm h}^{-1}$ , o que nos leva a compreender que a mais baixa taxa de infiltração ainda é relevante em termos de condutividade hidráulica, e considerando, conforme Campos (2004), a espessura do sistema aquífero Domínio Poroso varia de poucos centímetros à 80 m, concluindo ser susceptível levantar a hipótese de que em algumas regiões em poucos meses as águas meteóricas atingem o domínio fraturado.

Analisando a eficiência de recarga em cada tipo de solo, Lousada & Campos (2006), em estudo realizado na bacia do rio Jardim, porção centro-leste do Distrito Federal, avaliaram o nível piezométrico de 50 pontos de observação e concluíram que os latossolos argilosos compõem aquífero de boa condutividade hidráulica com movimentação dos níveis freáticos regular; os latossolos muito argilosos compõem o aquífero de baixa condutividade hidráulica compondo solos de condições restritivas como reguladores da descarga para fraturas subjacentes; conforme o autor, os cambissolos apresentam recarga direta local mínima, sendo sua recarga proveniente das chapadas adjacentes em situações topográficas mais elevadas, o que ocorre por meio de fluxo lateral; os gleissolos são os que respondem mais rapidamente aos efeitos de precipitação e registram as menores oscilações, são muito sensíveis às interferências antrópicas por apresentarem níveis freáticos muito rasos em épocas de elevadas médias pluviométricas e; os neossolos quartzarênicos possuem alta condutividade hidráulica, tendem a secar nos períodos de estiagem e ascendem rapidamente no período chuvoso para níveis próximos à superfície, ainda quanto à avaliação desse aquífero quanto às condições hídricas, apresenta textura arenosa, elevada condutividade hidráulica e são bons reguladores de recargas para os aquíferos adjacentes.

A geologia do Distrito Federal, conforme Lousada & Campos (2005), referenciando os trabalhos de Freitas-Silva & Dardenne (1994), Campos & Freitas-Silva



(1998), Teixeira e Danni (1978) e Pimentel *et al.* (1992 e (1995) e por fim Dardenne (1978ab, 1979 e 1981), mostra que o Distrito Federal é composto por quatro unidades geológicas principais: o Grupo Canastra Mesoproterozóico que ocorre na porção centro-leste do Distrito Federal e representa aproximadamente 15% da área, formado por sericita filitos, clorita filitos, calcifilitos, quartzo-sericita filitos com lentes e níveis de quartzitos, metarritmitos e raras lentes de mármore finos próximas à base da seqüência; o Grupo Paranoá Meso-Neoproterozóico que cobre aproximadamente 65% da área e consiste de uma seqüência psamo-pelito-carbonatada, composta por sete unidades descritas da base para o topo, como unidades: **Q<sub>2</sub>** (quartzitos conglomeráticos), **S** (metassiltitos e metarritmitos com intercalações carbonatadas), **A** (ardósias), **R<sub>3</sub>** (metarritmitos com predominância de corpos arenosos), **Q<sub>3</sub>** (quartzitos finos a médios), **R<sub>4</sub>** (metarritmitos com predominância da fração pelítica) e por fim **PPC** (metarritmitos e metassiltitos com lentes de metacalcários e canais quartzíticos); o Grupo Araxá, representando aproximadamente 5 % da área na porção sudoeste, composto por clorita xistos, muscovita-quartzo-xistos, biotita muscovita-xistos raramente granadíferos, além de ocasionais lentes e intercalações de quartzitos micáceos finos e; o Grupo Bambuí de idade Neoproterozóica, cobre 15% da área e representa um conjunto essencialmente pelito-carbonatado composto por metargilitos, metafolhelhos, metassiltitos argilosos, calcários e dolomitos, com sucessão de arcóseos no topo. Na figura 3 é possível observar a disposição de cada um destes grupos.

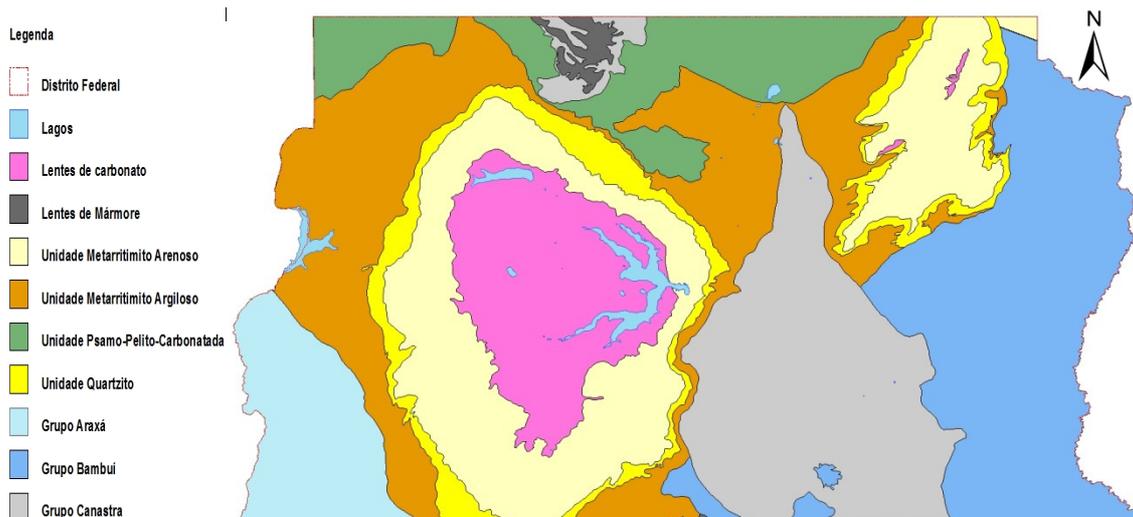


Figura 3 - Geologia do Distrito Federal

Adaptado de Freitas-Silva & Campos (1998).

O Distrito Federal está localizado na Província Hidrogeológica do Escudo



Central, caracterizada amplamente por aquíferos fraturados cobertos por mantos de intemperismo (solos e rochas alteradas), sem grandes drenagens superficiais, porém, atuando como um divisor natural de três grandes bacias: Platina, Rio São Francisco e Rio Tocantins conferindo-lhe importância estratégica quanto aos recursos hídricos. Conforme Campos (2004), baseado na geologia local podem ser diferenciados dois grandes grupos de aquíferos: o **Domínio Aquífero Poroso**, caracterizado pelos espaços intersticiais em solos, manto de alteração das rochas (saprolito) e materiais acumulados em calhas de drenagens (aluviões), com aquíferos que possuem grande continuidade lateral, espessuras que variam de poucos centímetros a 80 m, sendo considerados rasos e livres e, por isso, moderadamente susceptíveis à contaminação. Em função dos parâmetros, espessura saturada (b) e condutividade hidráulica (K), este domínio pode ser dividido em quatro sistemas **P<sub>1</sub>**, **P<sub>2</sub>**, **P<sub>3</sub>** e **P<sub>4</sub>**; os sistemas **P<sub>1</sub>**, **P<sub>2</sub>** e **P<sub>3</sub>**, caracterizados por espessuras superiores a 5m e condutividade hidráulica respectivamente alta, média e baixa e o sistema **P<sub>4</sub>** com espessuras inferiores a 2,5 m e condutividade hidráulica baixa. Este domínio tem duas funções importantes, a primeira relacionada a um sistema de proteção contra contaminação de águas profundas e a segunda, à manutenção da perenidade das drenagens no período de estiagem e; o **Domínio Aquífero Fraturado**, caracterizado pelos meios rochosos nos quais a água é conduzida e armazenada nos planos de fraturas, microfraturas, diáclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas. São considerados livres ou confinados, de extensão lateral variável, fortemente anisotrópicos e heterogêneos, limitado a profundidades pouco superiores à 250 m. Baseado na estrutura geológica das rochas reservatório, análises estatísticas dos dados de vazões, os aquíferos do Domínio Fraturado podem ser classificados em quatro conjuntos distintos denominados sistemas aquíferos:

*Sistema Araxá;*

*Sistema Bambuí;*

*Sistema Canastra com os Subsistemas F (filitos) e Q/F/M (filitos com níveis carbonatados) e;*

*Sistema Paranoá com os Subsistemas S/A (metassiltitos e metarritimitos com intercalações carbonáticas / ardósias), A (ardósias), R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> (metarritimitos com predominância de corpos arenosos / quartzitos finos a médios), R<sub>4</sub> (metarritimitos com predominância da fração pelítica) e PPC (metassiltitos e metaargilitos com lentes de metacalcários e canais quartzíticos).*



Baseado nos sistemas aquíferos definidos, Lousada & Campos (2005) propuseram quatro modelos hidrogeológicos conceituais denominados funcionalmente como: **Modelo das Duas Superfícies Potenciométricas**, **Modelo Físsuro-cárstico**, **Modelo de Superfície Potenciométrica Única com Confinamento** e **Modelo de Superfície Potenciométrica Única sem Confinamento**, abaixo descritos:

*1 – Modelo das duas superfícies potenciométricas - aplicável às áreas no interior das chapadas elevadas e constitui-se de duas superfícies potenciométricas, uma no domínio poroso sustentada por uma barreira hidráulica no topo do domínio fraturado e outra no domínio fraturado localizada abaixo deste. Essas superfícies potenciométricas são possivelmente detectadas no período de seca, uma vez que, no período de chuva o topo do domínio fraturado também se encontra saturado ocorrendo, portanto, a junção das zonas saturadas dos domínios poroso e saturado. Na figura 4 é possível observar o esquema deste modelo (Campos & Freitas-Silva, 1998).*

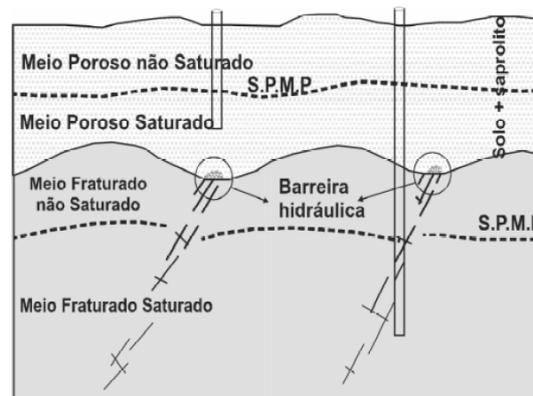


Figura 4 - Modelo esquemático das duas superfícies potenciométricas

S.P.M.P – Superfície Potenciométrica do Meio Poroso; S.P.M.F – Superfície Potenciométrica do Meio Fraturado.  
Fonte: Lousada & Campos (2005)

*2 – Modelo físsuro-cárstico - é proposto para várias regiões do Distrito Federal, tendo como requisito a presença de lentes carbonáticas interdigitadas com rochas de baixa permeabilidade, podendo ter uma ou duas superfícies potenciométricas dependendo da espessura das camadas de solo. Pela limitação de fluxo lateral por presença de poucas rochas fraturadas a recarga ocorre eminentemente por fluxo vertical. Na figura 5 observa-se o esquema deste modelo.*

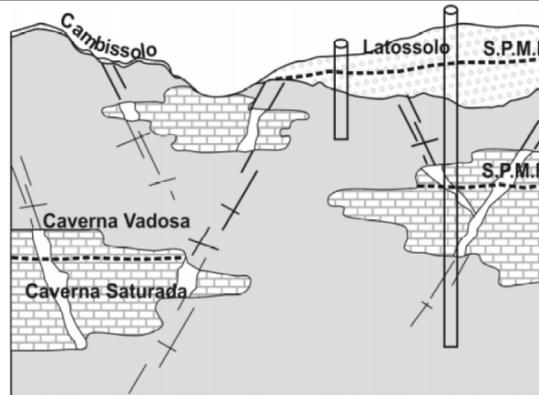


Figura 5 - Representação esquemática do modelo Físsuro-Cárstico

Fonte: Lousada & Campos (2005)

**3 – Modelo de superfície potenciométrica única com confinamento** - é observado em locais de relevo fortemente ondulado, com rochas pelíticas recobertas por solos pouco desenvolvidos. O sistema superior é classificado como Sistema  $P_4$  sem camada de saturação e funciona como camada confinante do tipo aquítarde. A recarga se dá pelo gotejamento a partir do Sistema  $P_4$  e pelo fluxo lateral de águas infiltradas nas áreas planas e elevadas que se distribuem nas adjacências. A representação esquemática pode ser observada na figura 6.

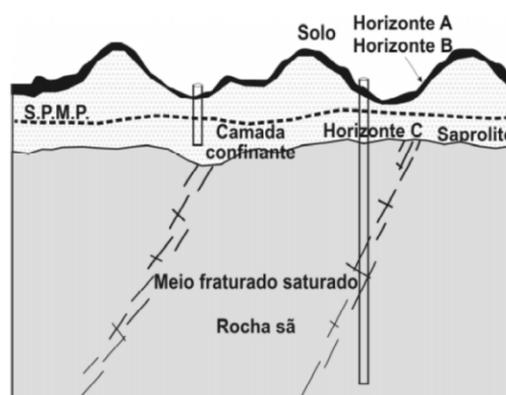


Figura 6 – Modelo de única superfície potenciométrica com confinamento

Fonte: Lousada & Campos(2005).

**4 – Modelo de superfície potenciométrica única sem confinamento** - é o modelo de circulação mais simples, ocorre na maior parte das áreas onde os aquíferos anisotrópicos de natureza fissural são recobertos por solos espessos em áreas de relevo suave ondulado com cotas intermediárias e em regiões próximas às quebras de relevo, sua recarga se dá principalmente pelo fluxo vertical de águas de precipitação. Na figura 7 é possível observar seu esquema representativo.

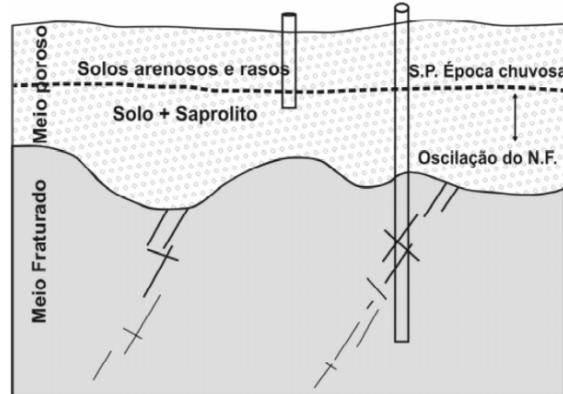


Figura 7 - Representação esquemática do modelo de superfície potenciométrica única sem confinamento

Fonte: Lousada & Campos (2005)

Um maior esclarecimento sobre estes modelos e sistemas aquíferos pode ser encontrado em Freitas-Silva & Campos (1998), Campos (2004) e Lousada & Campos (2005).



## 2 CAPÍTULO II

### 2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A água é uma substância inodora, incolor e insípida e é fundamental para a manutenção da vida na terra e de diversos ciclos de importâncias múltiplas. É uma molécula diatômica planar com ângulo de  $104^{\circ}30'$  e estrutura linear H – O – H. O átomo de oxigênio é central à molécula e possui hibridização  $sp^3$  com dois pares de elétrons isolados o que dá água o caráter polar. Considerando os átomos constituintes da água, é possível ter dezoito combinações de isótopos (entre hidrogênio e oxigênio), conforme abaixo:

H – O – H	MM = 18	H – $^{17}\text{O}$ – H	MM = 19	H – $^{18}\text{O}$ – H	MM = 20
H – O – $^2\text{H}$	MM = 19	H – $^{17}\text{O}$ – $^2\text{H}$	MM = 20	H – $^{18}\text{O}$ – $^2\text{H}$	MM = 21
H – O – $^3\text{H}$	MM = 20	H – $^{17}\text{O}$ – $^3\text{H}$	MM = 21	H – $^{18}\text{O}$ – $^3\text{H}$	MM = 22
$^2\text{H}$ – O – $^2\text{H}$	MM = 20	$^2\text{H}$ – $^{17}\text{O}$ – $^2\text{H}$	MM = 21	$^2\text{H}$ – $^{18}\text{O}$ – $^2\text{H}$	MM = 22
$^2\text{H}$ – O – $^3\text{H}$	MM = 21	$^2\text{H}$ – $^{17}\text{O}$ – $^3\text{H}$	MM = 22	$^2\text{H}$ – $^{18}\text{O}$ – $^3\text{H}$	MM = 23
$^3\text{H}$ – O – $^3\text{H}$	MM = 22	$^3\text{H}$ – $^{17}\text{O}$ – $^3\text{H}$	MM = 23	$^3\text{H}$ – $^{18}\text{O}$ – $^3\text{H}$	MM = 24

O átomo de hidrogênio possui 3 isótopos como o do oxigênio, no entanto, devido as suas características possuem nomes distintos: H – Prótio,  $^2\text{H}$  – Deutério e  $^3\text{H}$  – Trítio, sendo que o último é considerado um isótopo instável e os demais estáveis. A distinção destes se dá pelo número de nêutrons existentes no núcleo de cada átomo de hidrogênio; o prótio sem nêutron, o deutério com um nêutron e o trítio com dois nêutrons. Em função da quantidade de massa em cada núcleo de hidrogênio costuma-se abordar um agregado de moléculas de mesmos isótopos como água leve (prótio), água pesada (deutério) e água super pesada (trítio). Dentre as combinações relacionadas a mais abundante é H – O – H, sendo as demais pouco abundantes ou expressivas.

Uma das principais características da água é atuar como solvente universal. São relativamente poucas as substâncias que não interagem com a água e isso é fundamental para as condições necessárias a manutenção da vida. Nas condições normais de



temperatura e pressão este recurso é encontrado em forma líquida. Como solvente, a água tem grande capacidade de solvatação o que lhe confere potencial como substância carreadora, o que possibilita encontrá-la como é popularmente denominada água ou água mineral que contempla sua substância simples mais sais minerais enriquecidos durante o processo de infiltração nas camadas superficiais da litosfera. Considerando a escala global, a água possui um ciclo principal que depende da região geográfica, altitude e conseqüentemente seu estado físico, conforme a figura 08.



Figura 8 - Ciclo da água no globo terrestre

Fonte: Jhon M. Evans, USGS, <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguesehi.html> acessado em 23 de junho de 2011

No processo das transformações relacionadas a cada etapa do ciclo a água sofre diferenciações que só podem ser observadas se forem consideradas as razões existentes entre seus isótopos de hidrogênio e oxigênio. É natural pensar que no caso da água em processos físicos, a ação das massas tenha relevância fundamental nesta diferenciação isotópica nas moléculas de água. Considerando o processo de evaporação é esperado que as moléculas mais leves (menores quantidades de deutério,  $^{18}\text{O}$  ou  $^{17}\text{O}$ ) com maior pressão de vapor consigam ganhar a atmosfera com mais facilidade do que as moléculas



mais pesadas (maiores quantidades de deutério,  $^{18}\text{O}$  ou  $^{17}\text{O}$ )<sup>1</sup> e, no caso das precipitações acima de 0° C na forma líquida e abaixo de 0° C na forma de cristais de gelo possuam composições moleculares com maiores quantidades dos isótopos deutério,  $^{18}\text{O}$  e  $^{17}\text{O}$  conforme Dasgaard (1964). Esta diferenciação isotópica é denominada na literatura relacionada aos estudos de hidrologia isotópica ou geoquímica, como fracionamento. O processo de fracionamento permitiu o desenvolvimento da área de “Hidrologia Isotópica”, que consiste no estudo dos sistemas hidrológicos a partir da interpretação fenomenológica dos mecanismos de fracionamento de isótopos naturais. Neste estudo a abordagem a partir do fenômeno de fracionamento isotópico permitiu estabelecer padrões de fluxos de água subterrânea, fundamentados nos padrões geoquímicos já conhecidos e observados durante o período de análise.

### 2.1.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O CICLO DA ÁGUA

Aproximadamente cinco - sextos da água que evapora têm origem nos oceanos, no entanto, somente três - quartos da água de precipitação retornam aos oceanos (Apud Tarbuck and Lutgens, 1993, Willis, 2008). O que significa que 25 % de toda água que precipita na terra é estocado nos continentes, e o volume de água representado por este um - quarto da precipitação mundial, dispersa para calotas polares e geleiras, lagos e várias redes de drenagem, solos (umidade) e aquíferos que são importantes reservatórios de água para consumo humano e de diversos seres vivos (Willis, 2008). Os reservatórios terrestres por meio de processos como evaporação, evapotranspiração, sublimação, condensação e precipitação trocam quantidades significativas de água completando o denominado Ciclo da Água. Vale ressaltar que o reservatório superficial mais volumoso é o dos oceanos com 97% de toda a água existente e, os reservatórios de água doce representam 2,61 % de toda a água existente no planeta. Ainda, em menor escala, os reservatórios subterrâneos representam 0,58 % de toda a água disponível no globo conforme Miranda (2009). Com relação aos reservatórios mais específicos considerando as unidades geológicas o quadro 1 nos permite conhecer os volumes de águas nos diversos reservatórios componentes da terra.

---

<sup>1</sup> Não se aborda nesta questão o isótopo trítio em função de sua baixíssima abundância e seu caráter radiogênico. Considera-se também o isótopo  $^{17}\text{O}$  menos relevante em função de sua baixa abundância apesar de considerado estável.



<i>Reservatórios de água</i>	<i>Massa d'água (Kg)</i>	<i>Quantidade relativa</i>
<i>Oceano</i>	$1,4 \times 10^{21}$	20,08 %
<i>Manto</i>	$5 \times 10^{20}$ a $5 \times 10^{21}$	72,07 %
<i>Calotas polares</i>	$1,75 \times 10^{19}$	0,25 %
<i>Matéria orgânica</i>	$1,36 \times 10^{18}$	0,02 %
<i>Rochas Metamórficas</i>	$3,6 \times 10^{19}$	0,52 %
<i>Folhelho</i>	$2,21 \times 10^{20}$	3,19 %
<i>Arenito</i>	-	0 %
<i>Carbonatos continentais</i>	$21,56 \times 10^{18}$	0,31 %
<i>Evaporito</i>	$4,20 \times 10^{17}$	0,01 %
<i>Argila marinha</i>	$7,56 \times 10^{18}$	0,11 %
<i>Carbonatos marinhos</i>	$5,04 \times 10^{17}$	0,01 %
<i>Total de rochas sedimentares</i>	$2,32 \times 10^{20}$	3,34 %

Quadro 1 – Conteúdo de água nos diversos reservatórios terrestres. Adaptado de Lécuyer et. al. (1998)

Conforme observado por Lécuyer et. al.(1998) na revisão de diversos artigos relacionados às razões isotópicas de deutério e reservatórios de água, o manto terrestre possui o maior volume de água, seguido pelos oceanos com um volume relativo de 20,08 % de toda água existente no planeta.

Os reservatórios subterrâneos têm provido grandes quantidades de água doce para as mais diversas finalidades e tem sido considerado um importante reservatório para a manutenção das relações econômicas, sociais e políticas apesar de seu pequeno volume global relativo. O reconhecimento de sua importância ainda não é amplamente difundido e respeitado, pois, tem sofrido amplamente com a ação do homem. Uma das práticas mais comuns que tem afetado o quantitativo de escoamento superficial nas condições naturais do ciclo da água em regiões populosas é a impermeabilização do solo. Estas regiões têm aumentado suas áreas impermeabilizadas e prejudicado a recarga dos reservatórios subterrâneos que transfere parte das águas protegidas (águas subterrâneas) para reservatórios superficiais de água doce ou salgada mais susceptíveis à contaminação com conseqüente diminuição dos estoques de água continental e aumento no volume de águas oceânicas. Vale ressaltar que o fornecimento de água doce nos períodos de estiagem é mantido pelos reservatórios subterrâneos e geleiras e a perda de volume de água nestes reservatórios pode comprometer a continuidade hídrica nos continentes.

Os sistemas aquíferos compõem um dos compartimentos da hidrosfera menos compreendido atualmente e, devem ser definidos como prioritários dado às suas importâncias regionais e globais para a gestão como recurso de extrema relevância para a manutenção da diversidade biológica do planeta.



## 2.1.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A NOTAÇÃO $\delta$

Para a compreensão das variações em isótopos estáveis sob influência de processo de diferenciação de espécies isotópicas, foi estabelecida a notação  $\delta$ , que define o quanto a razão isotópica de uma determinada substância desvia desta mesma em uma determinada condição padrão, ou seja:

$$\delta = \left( \frac{(\text{razão isotópica da amostra}) - (\text{razão isotópica do padrão})}{(\text{razão isotópica do padrão})} \right) \times 1000$$

O desvio relacionado é multiplicado pelo fator de 1.000 com a intenção de se simplificar o entendimento e análise numérica, uma vez que o número de isótopos abundantes é extremamente superior aos menos abundantes.

## 2.1.3 O ESTUDO ISOTÓPICO NA INTERPRETAÇÃO DE FENÔMENOS NATURAIS

### 2.1.3.1 CONSIDERAÇÕES ACERCA DAS RAZÕES ISOTÓPICAS D/H E $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

Desde a década de 1960 o interesse sobre o estudo de isótopos para a aplicação como ferramentas de compreensão do ciclo da água e seus fenômenos associados, tem sido incentivado pelos órgãos internacionais e comunidade científica dada à importância vital, econômica, social e política da água. Estes esforços permitiram o desenvolvimento de técnicas e conceitos que hoje têm ampla utilização no meio acadêmico na interpretação de processos ambientais. Os isótopos são formas distintas de um elemento químico de referência com número de nêutrons diferentes. A palavra *isótopos* é derivada do grego (significando *iso* = mesmo, *topo* = lugar) e indica que ocupa a mesma posição na tabela periódica. Existem três classes de isótopos de importância para estudos ambientais: isótopos instáveis, radiogênicos e estáveis. Os isótopos instáveis possuem instabilidade em seus núcleos atômicos e por decaimento radioativo com a emissão de partículas alfa ou beta dão origem a isótopos radiogênicos que podem ser estáveis ou instáveis.

Os isótopos estáveis possuem as mesmas propriedades eletrônicas do átomo de referência, no entanto, em algumas propriedades físicas e químicas é possível distingui-los. As diferenças nas espécies isotópicas é a quantidade de nêutrons presentes em seu núcleo em comparação ao átomo de referência. Essa diferença no número de nêutrons



reflete na massa atômica do isótopo e como o nêutron é uma partícula de carga nula em reações químicas quando não se considera o efeito cinético a diferença em nêutrons não possui relevância. Esta diferença de massa em função do número de nêutrons de isótopos é que confere o imenso potencial das aplicações nas interpretações fenomenológicas naturais. Dentre os isótopos estáveis mais comuns nos estudos geoquímicos os que possuem relevância para esse estudo são: Carbono - isótopo  $^{13}\text{C}$ , Deutério  $^2\text{H}$  ou D e Oxigênio  $^{18}\text{O}$ , considerando seus aspectos de fracionamento natural e modificações de suas razões isotópicas. Os isótopos D e  $^{18}\text{O}$  são fundamentais nos estudos que envolvem a observação dos fenômenos associados à água. Considerando a composição da molécula da água e os processos naturais que está submetida estes isótopos têm sensibilidade e memória histórica das modificações temporais da água global e local. É possível associar a sensibilidade destes isótopos a conexões entre águas de compartimentos distintos como o caso da água atmosférica e superficial. Quando nos referimos à sensibilidade nos estudos isotópicos estamos explorando a distinção entre as quantidades de isótopo mais pesado e o isótopo mais leve e, a diferença entre as proporções destes, produzida por meio de fenômenos naturais ou artificiais, é denominada fracionamento isotópico. Este permite o amplo espectro de aplicações de isótopos em estudos ambientais. Com o avanço nos estudos de aplicação no campo da geoquímica percebeu-se algumas diferenciações nas razões isotópicas em consequência da latitude, altitude, continentalidade, quantidade de precipitação e temperatura do ar na superfície da terra. Estes efeitos foram explicados a partir do conceito de três tipos de fracionamento isotópico: Fracionamento no Equilíbrio, Fracionamento Cinético e Fracionamento Independente de Massa.

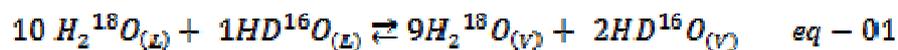
#### 2.1.3.1.1 Fracionamento

Baseado em resultados de estações distribuídas no globo mantidas por projeto de cooperação entre a Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA e Organização Mundial de Meteorologia - WMO para verificação dos valores de razão isotópica com os isótopos estáveis de D e  $^{18}\text{O}$ , Dansgaard (1964) e Craig (1961), perceberam alguns efeitos em função de parâmetros físicos e meteorológicos como: latitude (efeito latitudinal), altitude (efeito de altitude), distância da costa (efeito continental), quantidade de precipitação e temperatura do ar na superfície. Estes efeitos ocorrem em função do fracionamento isotópico associado às características e comportamento da



água nos processos de seu ciclo em escalas local, regional e global.

Conforme Dansgaard (1964) o processo de fracionamento ocorre sempre em condição de equilíbrio, podendo este ser insignificante ou não, dependendo da taxa de velocidade que se procede a troca de um estado físico. Quando um processo pode ser considerado lento e próximo à condição de um sistema fechado como no caso de um sistema de duas fases, em estados físicos distintos, o fracionamento isotópico em função da evaporação ou condensação é suavizado, isto, se deve ao fato de que no processo de evaporação os componentes ou espécies isotópicas com maior pressão de vapor ascendam à atmosfera em vantagem às espécies mais pesadas. Estes deverão entrar em equilíbrio considerando as composições isotópicas existentes em cada estado físico, conforme a equação química 01:



Como neste caso consideramos um sistema fechado é possível que a tendência de equilíbrio permita que as composições isotópicas entre as fases possuam relações próximas em função do contato entre estas. Em condições naturais estes processos ocorrem por vezes lentamente, no entanto, o equilíbrio não é favorecido pelo movimento das massas no globo terrestre. Seja no fenômeno de evaporação ou condensação, a fração de vapor ou condensado formada é deslocada para uma região diferente evitando a possibilidade de equilíbrio. Sendo assim o fracionamento ocorrido em função da evaporação ou condensação não é atenuado pelo equilíbrio químico e passa a ter uma influência maior nos fenômenos naturais. Este comportamento de fracionamento é conhecido com um processo *Rayleigh* no qual as frações remanescentes são consideradas e se enriquece ou empobrecem no isótopo pesado dependendo do processo físico. Neste processo a condição de equilíbrio é desprezada, não há tempo suficiente para as fases atingirem o equilíbrio químico entre suas composições isotópicas. A maioria dos fenômenos naturais ocorre em sistemas abertos considerando situações regionais e o fracionamento é do tipo Rayleigh.

Em seguida segue uma breve explicação acerca dos efeitos de fracionamento mais importantes e relevantes para o presente trabalho, tomando como referência os tratamentos dados na publicação do Programa Hidrológico Internacional da Agência



Internacional de Energia Atômica no ano de 2001, Isótopos Ambientais no Ciclo Hidrológico – Princípios e Aplicações, Nro 39, volume II.

### O Efeito da Temperatura

Em avaliação do comportamento do fracionamento em função da temperatura considerando um sistema aberto de duas fases: vapor – líquido; Dansgaard (1964) observou que em um processo de resfriamento isobárico considerando a fração de vapor remanescente, em uma variação de 20°C, apresenta um enriquecimento de  $\delta$  (tanto para D, quanto para  $^{18}\text{O}$ ) à medida que os valores iniciais da temperatura no processo de condensação aumentam em porcentagens diferenciadas de fração de vapor. Percebe-se claramente que o efeito da temperatura tende a atenuar o grau de fracionamento em temperaturas mais altas. No processo de evaporação o comportamento do efeito da temperatura é o oposto uma vez que com o aumento da temperatura o empobrecimento de  $\delta$  (tanto para D, quanto para  $^{18}\text{O}$ ) ocorre, conforme a tabela 01.

$t_0$ °C	Condensation by isobaric (for $t_0 = 100^\circ\text{C}$ isochoric) cooling						Evaporation (isothermal)				
	$t = (t_0 - 20)^\circ\text{C}$			$t = (t_0 - 40)^\circ\text{C}$			$F_w = 0.3$		$F_w = 0.1$		
	$F_v$ %	$\delta_D$ ‰	$\delta_{18}$ ‰	$F_v$ %	$\delta_D$ ‰	$\delta_{18}$ ‰	$\delta_D$ ‰	$\delta_{18}$ ‰	$\delta_D$ ‰	$\delta_{18}$ ‰	
	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
0	20	-150	-17.1				122	13.4	247	25.8	
20	26	-95	-11.7	5.2	-223	-28.2	92	11.1	184	21.5	
40	30	-63	-8.2	7.7	-153	-19.8	71	8.9	140	17.1	
60	32	-46	-6.0	9.6	-104	-14.0	54	7.1	107	13.6	
80	27	-44	-5.4	8.7	-87	-11.4	44	5.4	86	10.0	
100	49	-14	-1.6	2.1	-39	-4.3	34	4.0	67	7.6	
	Condensation by adiabatic cooling ( $p_0 = 1000$ mb)										
0	29	-107	-12.9								
20	43	-52	-6.6	13	-144	-18.3					

Quadro 2- Fracionamento obtido em processos de evaporação e condensação em sistemas abertos e adiabáticos.

Fonte: Dansgaard (1964)

### Efeito de Latitude

O efeito de latitude provoca aproximadamente um decréscimo de 0,6 ‰ a cada grau de latitude quando consideramos  $\delta^{18}\text{O}$ , sendo mais agressivo no continente Antártico. Este efeito de latitude pode ser também denominado como efeito da temperatura, uma vez que, com o aumento da latitude tem-se cada vez mais uma



aproximação às regiões polares e conseqüentemente queda de temperatura. Como a grande concentração de vapor é formada nas regiões de maior temperatura do globo, ou seja, na Zona de Convergência Inter-Tropical - ITCZ, estes vapores sofrem perda por precipitação à medida que avançam em deslocamento para as regiões polares. Outro fato importante, é que com o aumento de latitude, sul ou norte, ocorre um decréscimo relevante em temperatura e se observarmos o quadro 2, com as análises de Daansgard (1964), é notável que os fatores de fracionamento possuem relevâncias muito maiores com o decréscimo de temperatura. O que ocorre, em termos práticos, é que com o deslocamento das massas de vapores no sentido de maior latitude, estas por precipitação perdem a maior parte de seus isótopos pesados sobre a influência ainda de quedas abruptas de temperatura, com fatores de fracionamento mais efetivos e, tendem a ser precipitados com quantidades maiores de isótopos leves ou desvios mais negativos de razão isotópica.

### **Efeito Sazonal**

Este efeito sofre forte influência da temperatura e considerando os hemisférios acompanham as contraposições de inverno/verão, ou seja, temperaturas altas no hemisfério sul, baixas temperaturas no hemisfério norte. O hemisfério norte sofre maior efeito de fracionamento em função de suas baixas temperaturas no inverno comparado com o hemisfério sul de clima mais ameno. Nas estações de inverno percebe-se mais claramente o fracionamento isotópico com empobrecimento das espécies isotópicas mais pesadas e no verão uma atenuação deste efeito, mais uma vez em coerência com as análises do quadro 2.

### **Efeito de continentalidade**

O efeito de continentalidade ou efeito de distância da costa é basicamente uma progressiva redução nas espécies isotópicas mais pesadas da águas com o aumento da distância aos oceanos e, conseqüentemente com o aumento do número de precipitações dos vapores remanescentes (figura9).

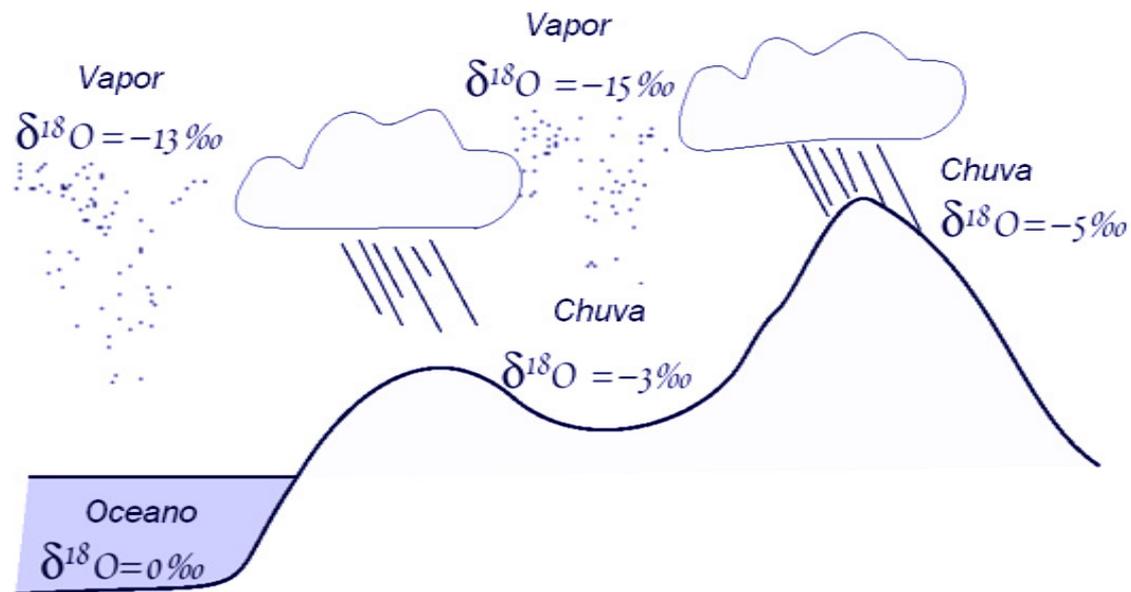


Figura 9 - Efeito de distância da costa ou continentalidade

### Efeito de altitude

Como uma regra a composição isotópica da precipitação muda com a altitude do terreno e se torna mais reduzida em  $^{18}\text{O}$  ou  $^2\text{H}$  à medida que as elevações se tornam maiores. Este efeito está estritamente relacionado à diminuição da pressão de vapor com o aumento de altitude, ou seja, quanto menor a pressão de vapor, maior a dificuldade de se formar um precipitado e conseqüentemente maior a necessidade de diminuição da temperatura para a ocorrência de chuva que por sua vez promove a redução nas quantidades das espécies isotópicas de  $^2\text{H}$  e  $^{18}\text{O}$ .

### Efeito de quantidade de precipitação

Este efeito está estritamente relacionado aos fortes eventos de chuva, como tempestades, nas quais uma redução relevante nas quantidades de  $^2\text{H}$  e  $^{18}\text{O}$  pode ser observada em questões de horas. Mas pode se considerar um efeito de análise complexa, pois, possui variações que dependem de muitas outras condições. Um exemplo ocorre em regiões áridas nas quais um evento de chuva demonstra precipitações enriquecidas nas espécies isotópicas da água, isto devido a evaporação das gotículas de chuva durante o caminho massa de vapor – superfície.

#### 2.1.3.1.2 Linha da Água Meteórica Global - GMWL

A Linha da Água Meteórica Global ou Global Meteoric Water Line – GMWL



teve sua relação estabelecida na década de 60, quando pesquisadores motivados pela Agência Internacional de Energia Atômica - IAEA e Organização Mundial de Meteorologia – WMO, iniciaram um intenso processo de investigação sobre o potencial das diferenças de abundância dos isótopos aplicado ao estudo da hidrologia. No início da década de 60, uma das grandes preocupações era o estabelecimento de um padrão e escala para os resultados que estavam sendo obtidos por diversos laboratórios no mundo. Em 1961, o artigo intitulado “Standard for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters”, publicado na revista Science em janeiro de 1961, relata a definição pelo Departamento Nacional de Padrões do padrão SMOW – Standard Mean Ocean Water e também cita o artigo anterior no qual é descrita a relação existente entre os desvios das razões isotópicas de D/H e  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  em relação ao padrão SMOW como a equação a seguir:

$$\delta D = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 \text{ eq.01}$$

O comportamento observado de correlação entre as razões isotópicas de  $\delta D$  e  $\delta^{18}\text{O}$  em várias amostras de água meteórica nos anos de 1961 e 1964 permitiram Craig e Dansgaard, respectivamente, definirem a equação da linha da água meteórica global, com uma inclinação de 8 e valor de constante 10‰, projeção dos valores de *d-excess* (*excesso de deutério*) do conjunto de amostras. Em um processo de evaporação, a condição de Rayleigh, na qual o fenômeno ocorre fora da condição de equilíbrio ou *non-equilibrium* com conseqüente escape de vapor, é notável a redução nos valores de  $\delta D$  e  $\delta^{18}\text{O}$  na fase de vapor e o enriquecimento nos valores isotópicos da água remanescente. Quando se considera reservatórios de água doce, a inclinação da linha de correlação  $\delta D \times \delta^{18}\text{O}$  tende a ser menor que a encontrada para a GMWL. O fator *d* - excesso de deutério - nos processos de evaporação quando comparamos uma condição de equilíbrio hipotética contra o mesmo processo em condição Rayleigh, é representado na equação da linha da água meteórica global projetando uma constante de 10‰ conforme figura 10(A e B).

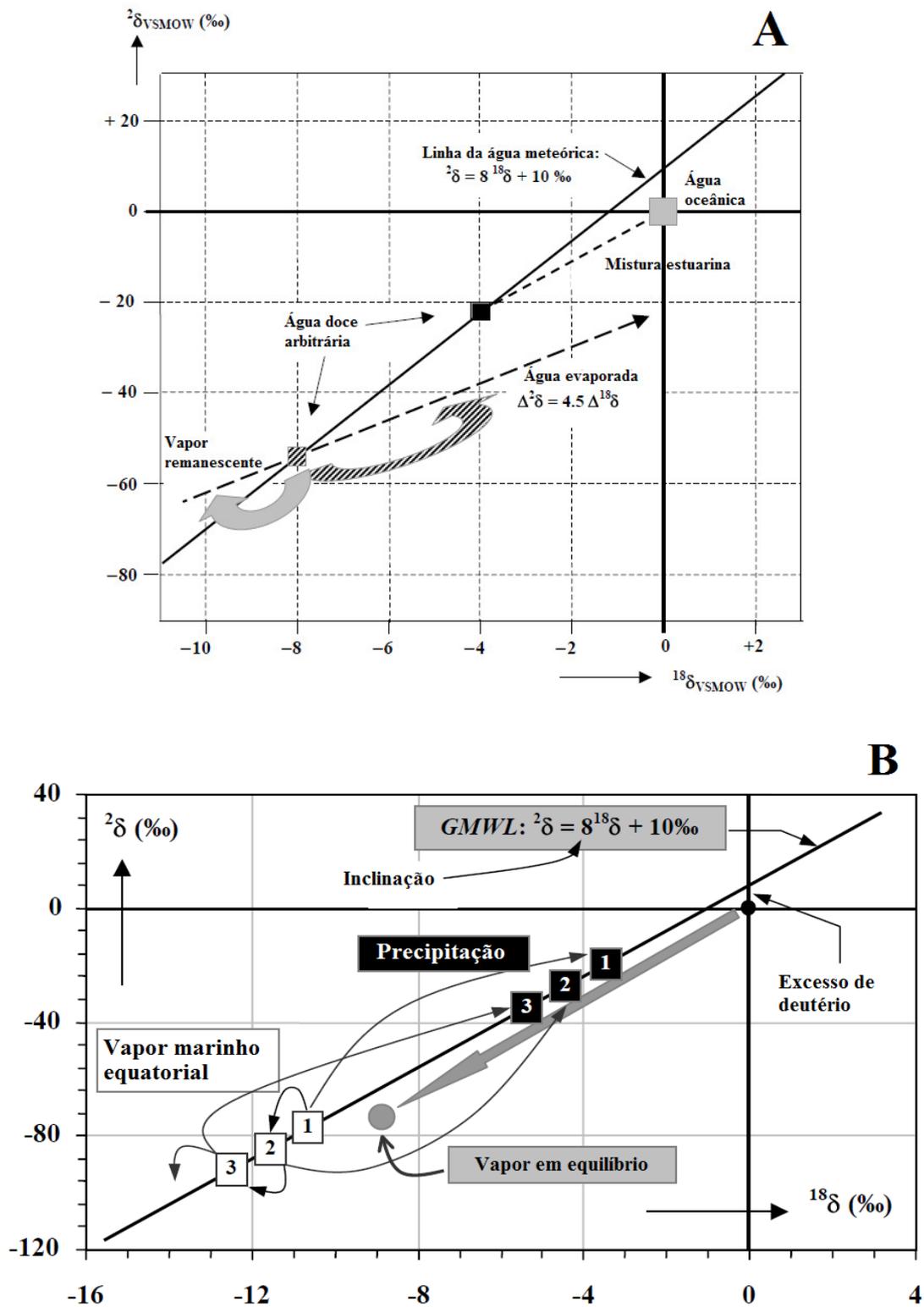


Figura 10 - Relações entre  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  para a mistura estuarina e evaporação de água superficial.

A evaporação é um processo fora do equilíbrio e o fracionamento cinético não está necessariamente relacionado por um fator de 8 como em um processo de condensação em equilíbrio. As setas indicam a direção de mudança da composição isotópica do vapor em deslocamento e da água evaporada remanescente (A) comparação entre o processo de evaporação fora do equilíbrio e em condição de equilíbrio hipotético (B). (IAEA, 2001, (A) volume I e (B) volume II)



No estudo de Horst *et al.* (2007), nos valores de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  em gráfico foi encontrada uma linha abaixo da linha meteórica da água com uma inclinação mais suave, com a seguinte equação  $\delta^2H = 7,97 * \delta^{18}O + 11,03$ , o que é sugerido com a mistura de dois processos de evaporação: um originado pela evaporação da umidade enriquecida do solo e outra pelo processo de evaporação convencional, conforme figura 11.

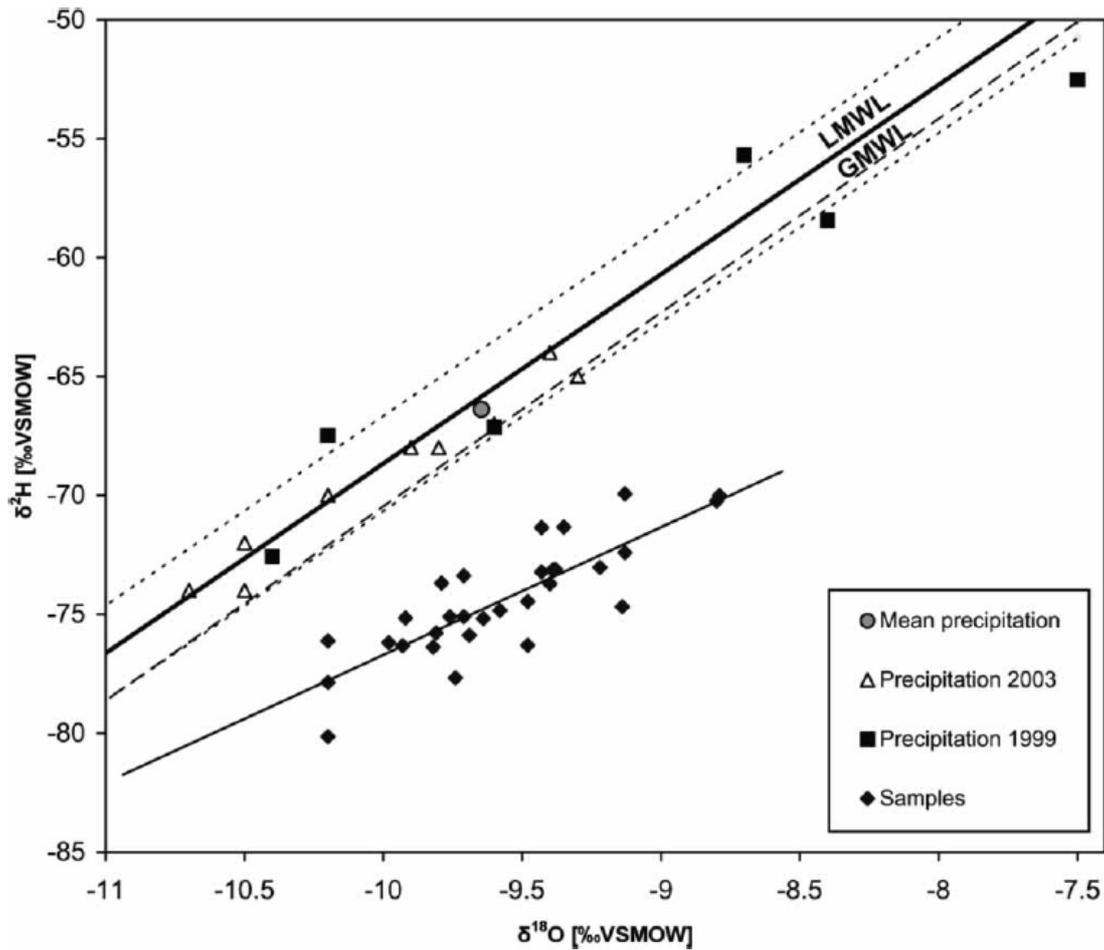


Figura 11 – Correlação de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  nos sistemas aquíferos na província de Guanajuato - México.

Adaptado de Horst *et al.* (2007).



### 2.1.3.2 CONSIDERAÇÕES ACERCA DA RAZÃO ISOTÓPICA $^{13}\text{C}/\text{C}$

#### 2.1.3.2.1 O Ciclo Global do Carbono

O carbono é o principal componente de toda a matéria orgânica existente (biosfera) e está presente na atmosfera nas moléculas mais representativas como  $\text{CO}_2$  (gás carbônico),  $\text{CH}_4$  (gás metano),  $\text{CO}$  (gás monóxido de carbono) e outros compostos orgânicos voláteis (COV). Na litosfera, é encontrado na forma de carbonatos e na hidrosfera na forma  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (ácido carbônico),  $\text{HCO}_3^-$  (bicarbonato) e  $\text{CO}_3^{2-}$  (carbonato) (Martinelli *et al.*, 2009). Os quatro reservatórios principais são a atmosfera, hidrosfera, litosfera e biosfera, nos quais, o ciclo do carbono envolve interações motivadas pelo fluxo do carbono entre estes, sendo que a atmosfera é o que tem sido mais afetado nos últimos tempos, como apontado por diversos estudos interessados no tema de mudanças climáticas.

A molécula de  $\text{CO}_2$  possui entre o carbono e os átomos de oxigênio duas duplas ligações, com propriedade de interagir com a radiação eletromagnética solar em um processo de estiramento ou vibração com fluxo de absorção de energia e posterior emissão, melhor dizendo, a radiação solar que penetra a atmosfera é refletida pela superfície terrestre e por sua vez na interação com as moléculas de gás carbônico retorna novamente à superfície em forma de calor o que ocasiona o efeito estufa. Uma quantidade muito grande de carbono na forma de  $\text{CO}_2$  na atmosfera aumenta a eficiência da concentração da energia da radiação solar e conseqüentemente a temperatura global, por outro lado, uma quantidade baixa de carbono na forma de  $\text{CO}_2$  diminui a eficiência da concentração da energia da radiação solar e conseqüentemente a temperatura. Existe uma quantidade ideal de gases do efeito estufa na atmosfera que mantenha a temperatura global nos níveis aceitáveis para a manutenção da biota terrestre. O que ocorre atualmente, é que as emissões de Gases do Efeito Estufa - GEE têm aumentado em função do modelo de produção e é necessário desenvolver mecanismos que permitam regular as toneladas de carbono enviadas à atmosfera ou ent modificar nosso modelo de produção.

Todo o carbono oxidado à  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  e reduzido à  $\text{CH}_4$  e compostos orgânicos voláteis (COV) em algum momento atinge à atmosfera variando os volumes entre cada reservatório. Com a criação dos antigos modelos de produção para a atenção das massas



em grande escala o homem tem afetado os estoques de carbono (áreas vegetadas, combustível fóssil entre outros) alterando volumes proporcionais destes, principalmente à atmosfera, que há séculos vem mantendo as condições naturais que permitem a boa qualidade de vida em termos de condições climáticas. Na hidrosfera os principais reservatórios de carbono são os oceanos, geleiras, gelo polar, aquíferos, lagos, rios, atmosfera e a biosfera (Press *et al.*, 2006). A matéria orgânica dissolvida nos oceanos representa um dos principais estoques de carbono orgânico e, na interação com os continentes uma grande proporção desta matéria é drenada para os oceanos (Fenner *et al.* 2002), os quais funcionam também como grandes captadores de gás carbônico atmosférico. Nas últimas décadas com o aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico sua pressão parcial na superfície oceânica tem favorecido um aumento relativo nas formas HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (bicarbonato) e H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (ácido carbônico) o que segundo alguns autores como de Putron *et al.* (2011), conforme seu estudo em corais do oceano atlântico, afirma que a dinâmica dos arrecifes de corais produtores de aragonita (CaCO<sub>3</sub> – Carbonato de Cálcio) tem sido reduzida e uma das preocupações é a continuidade destes ecossistemas. A maior parte do carbono inorgânico dissolvido nos oceanos ocorre pelo influxo de CO<sub>2</sub> atmosférico, carbonato de origem continental e seqüestro deste por fitoplânctons.

A litosfera é o reservatório que mais contribui para a dinâmica do carbono inorgânico em função do processo de solvatação das formas iônicas e transporte para os outros reservatórios em função de intemperismo. A troca de carbono entre a vegetação, solo e atmosfera ocorre por meio do processo de fotossíntese, respiração e produção de serapilheira (matéria orgânica em processo de degradação), os quais são controlados pelas condições ambientais e características da vegetação (Cao & Woodward, 1998).

A biosfera é o sistema ecológico global que integra todos os seres vivos e suas relações, incluindo suas interações com os elementos da litosfera, hidrosfera e atmosfera (Campbell *et al.*, 2006). É importante considerar que toda a matéria orgânica que faz parte dos seres vivos e serapilheira é entendida como componente da biosfera o que torna esta, transversal a todos os demais reservatórios considerados a partir da litosfera em termos de interação. No quadro 3 é possível observar as quantidades de carbono distribuídas por cada ecossistema, considerando as quantidades existentes no solo e em serapilheira. O estoque de carbono mais efetivo é encontrado nas florestas tropicais, uma vez que, estas concentram o maior volume de carbono no solo e relativamente



menor quantidade de matéria orgânica em decomposição (considerando a serapilheira) que contribui para o fluxo de  $\text{CO}_2$  – biosfera terrestre → atmosfera.

Ecossistem	Área (milhões de $\text{km}^2$ )	C – solo ( $10^9$ tC)	C – serapilheira ( $10^9$ tC)
Rocha, gelo e areia	24	3	0,02
Desertos	18	101	0,20
Floresta tropical	17	255	3,60
Savana	15	56	1,50
Terras cultivadas	14	178	0,70
Florestas boreais	12	179	24,00

Quadro 3 - Área ocupada por alguns biomas terrestres e quantidade de carbono estocada no solo e na serapilheira desses biomas. Adaptado de Martinelli et al. (2009)

Na figura 12 é possível observar um esquema da dinâmica do ciclo do carbono na maior parte dos reservatórios com seus principais agentes.

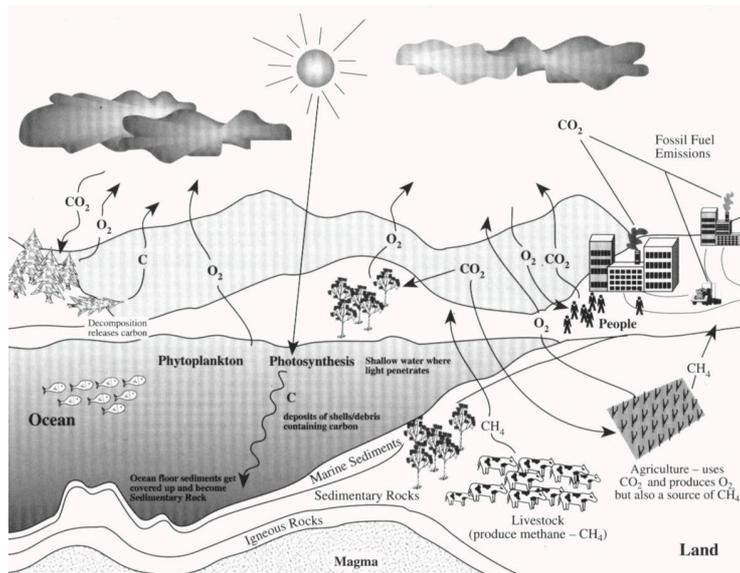


Figura 12 - O Ciclo do carbono

Fonte: [http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/oceancolor/additional/science-focus/space/ocdst\\_global\\_carbon\\_cycle.shtml](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/oceancolor/additional/science-focus/space/ocdst_global_carbon_cycle.shtml) acessado em 07 de julho de 2011.

Neste processo que envolve os átomos de carbono muitos fenômenos de fracionamento estão associados estabelecendo distintas assinaturas isotópicas para cada elemento do ciclo e na vegetação mais especificamente para alguns tipos de plantas em função de seus processos metabólicos e de sua importante ação de seqüestro do carbono atmosférico.



### 2.1.3.2.2 Processos de Fracionamento do Carbono

Conforme Keeling *et. al.* (1979, Apud Faquhar 1989) a composição isotópica do carbono na atmosfera tem sido reduzida suavemente no isótopo  $^{13}\text{C}$ , motivado pela queima antropogênica de combustíveis fósseis os quais possuem um  $\delta \approx -26 \text{‰}$ . Em medidas de razão isotópica de 1956 a 1982 o  $\delta^{13}\text{C}_{\text{atmosférico}}$  tem diminuído de  $-6,7 \text{‰}$  para  $-7,9 \text{‰}$  e tem se assumido uma razão isotópica de  $\delta^{13}\text{C}_{\text{atmosférico}} \approx -8,0 \text{‰}$ , conforme a figura 13.

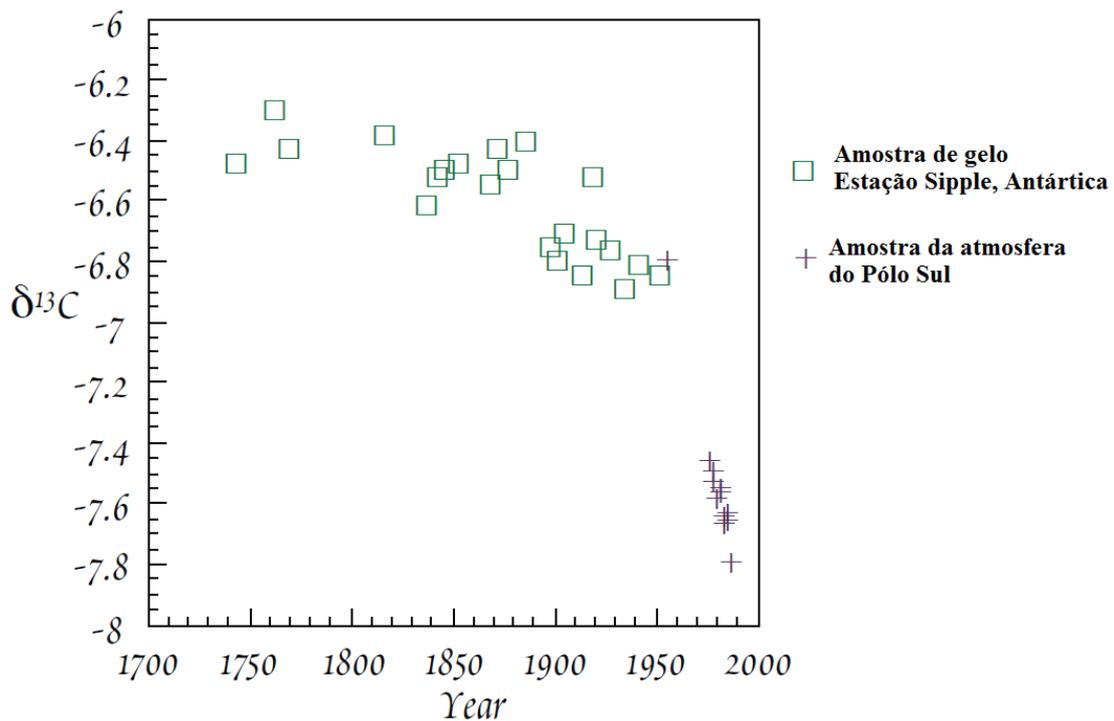


Figura 13 - Variação negativa de  $\delta^{13}\text{C}$  de 1700 à 2000.

Fonte: Friedly e Keeling (1986 e 1989 Apud, *Geol. 656 Isotope Geochemistry, Spring 2009, lecture 26*)

No fracionamento do carbono a fotossíntese é um dos mais importantes processos na diferenciação do isótopo  $^{13}\text{C}$  entre os reservatórios terrestres. Na década de 1960 descobriu-se uma diferenciação nas rotas fotossintéticas das plantas que permitiu classificá-las em plantas  $\text{C}_3$  ou  $\text{C}_4$ . Esta distinção se deveu em função do processo ao qual a molécula de  $\text{CO}_2$  é fixada na fotossíntese. A distinção bioquímica se dá no caso das plantas  $\text{C}_3$  pela fixação da molécula  $\text{CO}_2$  por meio da ação da enzima ribulose bifosfato carboxilase e, nas plantas  $\text{C}_4$  pela fixação por meio da carboxilação do fosfoenolpiruvato (O’Leary, 1988). Esta distinção conforme O’Leary (1988) permite-nos, encontrar valores de  $\delta^{13}\text{C} \approx -16$  a  $-28 \text{‰}$  para plantas  $\text{C}_3$  (lenhosas e arbustivas) e  $\delta^{13}\text{C} \approx -4$  a  $-14 \text{‰}$  para Plantas  $\text{C}_4$  (gramíneas), conforme a figura 14.

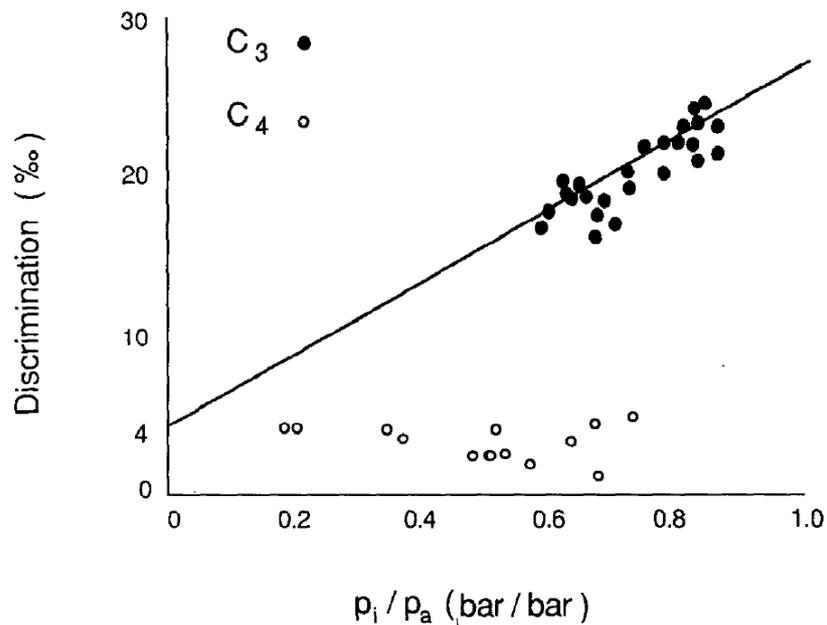


Figura 14 – Discriminação  $\delta^{13}\text{C}$  para plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  considerando as pressões parciais de  $\text{CO}_2$  no ambiente ( $p_a$ ) e intracelular ( $p_i$ ).

Fonte: Faquhar *et. al.* (1987, Apud Farquhar *et. al.* 1989).

Ocorre ainda a possibilidade de plantas mistas entre  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  que podem estar dentro da variação de discriminação de  $^{13}\text{C}$  entre -9,6 a -22,6 ‰ conforme Monson *et. al.* (1990, Apud Faquhar *et. al.* 1989). A vegetação em específico tem forte influência na alteração das razões isotópicas de oxigênio e carbono em seu processo fotossintético, conforme Farquhar *et. al.* (1993), durante a fotossíntese, as moléculas mais pesadas de  $\text{CO}_2$  ( $\text{C}^{18}\text{O}^{16}\text{O}$ ) difundem mais lentamente do que as moléculas de  $\text{CO}_2$  ( $\text{C}^{16}\text{O}_2$ ) nas folhas, além disso, a anidrase carbônica promove ao nível de cloroplastos a troca dos átomos de oxigênio da molécula de  $\text{CO}_2$  com os átomos de oxigênio da molécula de água do cloroplasto. Ainda, observa-se que esta água sofre um processo de enriquecimento em função da perda da espécie mais leve por evaporação na superfície das folhas. Enfim, parte do  $\text{CO}_2$  é aproveitada no processo fotossintético, outra parte retorna à atmosfera após a ação da anidrase carbônica conferindo-lhe um enriquecimento da molécula de  $\text{CO}_2$  com o isótopo  $^{18}\text{O}$  em comparação com o ar atmosférico. Ainda considerando as análises de Farquhar *et. al.* (1993), no processo de respiração e decomposição o  $\text{CO}_2$  é empobrecido porque reflete o  $\text{CO}_2$  em equilíbrio com a água empobrecida do solo.

No estudo de Axel Horst *et. al.* (2007), os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  possibilitaram a identificação de duas fontes para a contribuição de água em aquífero; uma sendo a



percolação em função de águas meteóricas e outra sendo a percolação em função do fluxo de retorno devido à irrigação, tomando por base a interação com o CO<sub>2</sub> do solo.

No trabalho de Böhlke & Horan (2000) ao encontrarem valores de  $\delta^{13}\text{C}$  baixos em torno de  $-22\text{‰} \pm 2\text{‰}$ , atribuíram a águas óxicas com recarga em campos fertilizados em consequência da dissolução de dolomita adicionada para neutralizar a acidez do solo. Isto, devido a correlação de valores de Mg/Ca mais próximos a 1 (valores mais altos) estarem associados as amostras com maior concentração de dolomita, sendo o oposto para as amostras com maior concentração de calcita, neste caso em águas subóxicas.

Considerando o carbono de carbonatitos nos complexos de Araxá, Catalão, Jacupiranga, Mato Preto e Tapira, é encontrada uma estreita faixa de variação de razão isotópica com  $\delta^{13}\text{C} \approx -7,5$  a  $-4,8\text{‰}$  e  $\delta^{18}\text{O} \approx 6,5$  a  $20,0\text{‰}$ , quando comparados os carbonatitos dos complexos: Araxá, Catalão, Jacupiranga e Tapira e também variações de razão isotópica com  $\delta^{13}\text{C} \approx -1,7$  a  $0,8\text{‰}$  e  $\delta^{18}\text{O} \approx 11,5$  a  $14\text{‰}$ , no caso de carbonatitos do complexo de Mato Preto, conforme Santos & Clayton (1995), figura 15.

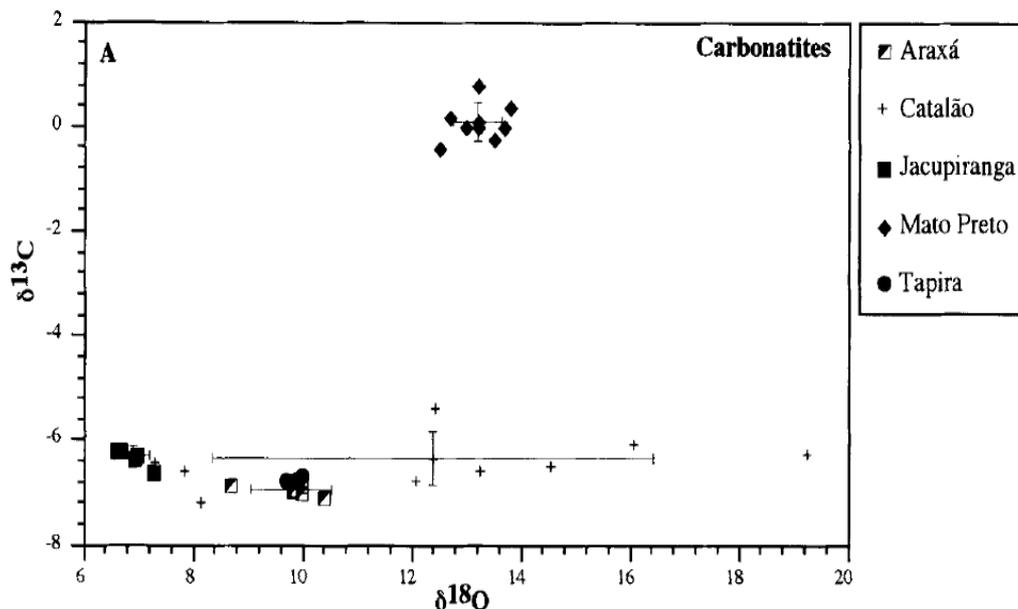


Figura 15 – Composição isotópica de oxigênio e carbono de calcita de carbonatitos dos complexos de Jacupiranga, Araxá, Catalão, Tapira e Mato Preto obtidas por método de extração dupla.

Fonte: Santos & Clayton (1995)

Os autores sugerem que as variações restritas nos carbonatitos do complexo de Mato Preto estão associadas aos processos de contaminação do magma por calcário das rochas encaixantes, devido aos altos valores relacionados ao  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  de carbonatos e



também pelo fato de que os processos magmáticos possuem teoricamente pouca influência. Embora os complexos de Araxá, Catalão e Tapira poderem também ser contaminado por rochas encaixantes é mais provável que estes estejam relacionados aos processos de alteração hidrotermal.

No estudo com razão isotópica de Carbono e Oxigênio e razão de Estrôncio de mármores do afloramento de xistos azuis na Grécia, Gärtner *et. al.* (2011) encontraram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  na faixa de 1.0 a 3.2 ‰, também em estudo com razão isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  em um espectro mais amplo de mármores Capedri *et. al.* (2004) encontraram uma faixa um pouco mais ampla variando de 0 até 6 ‰.

Na figura 16 é possível observar o fluxo, conteúdo e as diferenciações em termos de razão isotópica  $\delta^{13}\text{C}$  dos principais reservatórios. Analisando a figura realmente pode se perceber que a queima de combustíveis fósseis, degradação de matéria orgânica e a queima de vegetação são os contribuintes mais efetivos no empobrecimento da atmosfera no isótopo  $^{13}\text{C}$ , uma vez que as outras fontes relevantes possuem razões isotópicas de carbono positivas, ou seja, ricas no isótopo mais pesado.

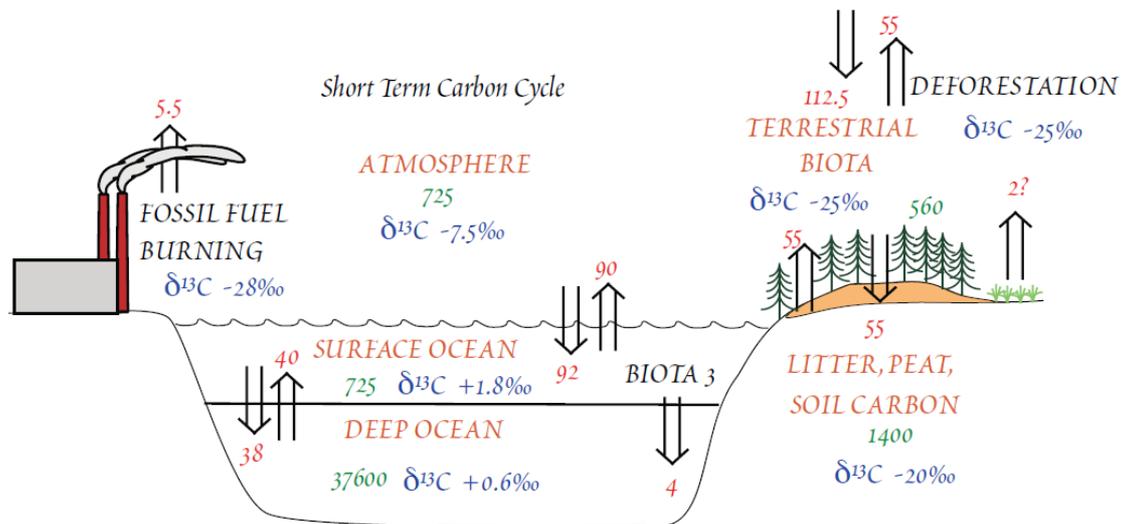


Figura 16 – O ciclo do carbono.

Os números em verde definem a quantidade de carbono (em 10<sup>15</sup> gramas ou gigatoneladas Gt) na atmosfera, oceano, biosfera terrestre e solo (incluindo serapilheira etc.). Fluxos (vermelho) entre os reservatórios (setas) estão em Gt/ano. Também é mostrada a composição isotópica aproximada de cada reservatório. As magnitudes dos reservatórios e fluxos (Schlesinger, W. H. 1991. *Biogeochemistry*. San Diego: Academic Press.) e as composições isotópicas (Heimann, M. and E. Maier-Reimer. 1996. *On the relations between the oceanic uptake of CO<sub>2</sub> and its carbon isotopes*. *Global Biogeochem. Cycles*. 10: 89-110.) Fonte: Geol. 656 *Isotope Geochemistry Lecture 26*, Spring 2009



### 3 CAPÍTULO III

#### 3.1 METODOLOGIA

##### 3.1.1 AMOSTRAGEM E PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Nesse estudo foram coletadas amostras mensais de 26 poços tubulares com profundidade média da câmara de bombeamento de 74 m e vazão média de produção de 14 m<sup>3</sup>/h. A amostragem ocorreu entre os meses de fevereiro de 2009 e novembro de 2010 contemplando dois ciclos sazonais. Em alguns meses não foi possível a coleta nos 26 poços devido a problemas de manutenção ou rebaixamento do nível freático rebaixado.

Para o procedimento de coleta foram adotados os seguintes procedimentos:

Para as análises de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\text{CO}_3^{2-}$  dissolvido),  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  foram coletados 250 mL de amostra por poço usando filtro de 22  $\mu\text{m}$ .



Figura 17 – Acima, sala de análise de isótopos estáveis e abaixo coleta e estabilização de amostra para leitura de razão isotópica de  $\delta^{13}\text{C}$  utilizando filtro de 22  $\mu\text{m}$

As análises foram procedidas no Laboratório de Isótopos Estáveis do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – LAIS/IG/UnB. As análises de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\text{CO}_3^{2-}$



dissolvido),  $\delta^{18}\text{O}$  e  $\delta\text{D}$  foram realizadas utilizando o espectrômetro de massa Delta V Plus que é equipado com o HDevice para a análise de deutério, Gas Bench II com autosampler para a determinação das razões isotópicas de carbono e oxigênio.

#### Preparação e Leitura das Razões Isotópicas das Amostras

Para a leitura de deutério adotou-se a preparação pelo sistema HDevice, com um volume de 1  $\mu\text{L}$  de amostra que foi injetada em forno de redução com  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  a  $850^\circ\text{C}$  com posterior redução da água à  $\text{H}_2$  (HH, HD, DD) e posterior determinação de razão isotópica no Delta V Plus.

Para a leitura de  $\delta^{13}\text{C}$  ( $\text{CO}_3^{2-}$  dissolvido) adotou-se a preparação no sistema GasBench II. O método consistiu na injeção de ácido fosfórico  $\text{H}_3\text{PO}_4$  em vial vedado, em seguida a atmosfera interna do vial foi trocada por gás hélio e posteriormente foi injetado 0,5 mL de amostra. A reação do ácido fosfórico com o carbonato dissolvido da amostra liberou  $\text{CO}_2$ , o qual foi coletado e posteriormente lido no Delta V Plus.

Para a leitura do oxigênio foi utilizado o sistema GasBench II. O método utilizado consistiu na injeção de 0,5 mL de amostra em vial vedado e, em seguida a atmosfera do vial foi trocada pela mistura de gases He e  $\text{CO}_2$  (3% da mistura). Procedeu-se então com o tempo de 18 horas de equilíbrio para o intercâmbio dos átomos de oxigênio. Após esse período uma alíquota da atmosfera do vial foi coletada para a determinação de  $\delta^{18}\text{O}$ .



### 3.2 PADRÕES UTILIZADOS

Ao todo foram realizadas 1261 análises de razão isotópica, sendo 333 análises de razão isotópica de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ , 473 análises de razão isotópica  $^2\text{H}/\text{H}$  ou  $\text{D}/\text{H}$  e 455 análises de razão isotópica de  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ . Para a determinação de  $\delta\text{D}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  das séries mensais de análises, foram utilizados os seguintes padrões (quadro 4):

<i>Padrão</i>	<i>Valor de referência ou tabelado para <math>\delta\text{D}</math></i>	<i>Valor de referência ou tabelado para <math>\delta^{18}\text{O}</math></i>
VSMOW	0,0 ‰	0,0 ‰
ID-1	-1,45 ‰	-1,86 ‰
PG-1	-60,6 ‰	-8,95 ‰
PMG-1	-114,0 ‰	-14,5 ‰
GISP	-189,5 ‰	-
SLAP	-428,0 ‰	-

Quadro 4 - Padrões utilizados no trabalho com seus valores de referência

No período de análises de 2009 e 2010 foi estabelecida uma carta de padrões para monitorar as variações dos valores medidos de cada padrão como pode ser observado no quadro 5:

<i>Padrão</i>	<i>Desvio padrão relativo ao conjunto de análises do padrão</i>	<i>Número de análises</i>	<i>Valor médio no conjunto de análises realizadas <math>\delta\text{D}</math></i>	<i>Variação absoluta com relação ao valor de referência</i>
VSMOW	1,78	30	-1,09 ‰	1,09 ‰
ID-1	1,97	211	-0,92 ‰	0,53 ‰
PG-1	2,42	429	-61,10 ‰	0,50 ‰
PMG-1	2,22	234	-112,49 ‰	1,51 ‰
GISP	2,20	31	-187,58 ‰	1,92 ‰
SLAP	1,35	23	-428,77 ‰	0,77 ‰

Quadro 5 - Variação da medida dos padrões em relação ao valor de referência para Deutério

Os padrões GISP e SLAP entraram no conjunto de padrões utilizados, como



teste da estabilidade destes. Seus valores são muito extremos para os valores encontrados na região do Distrito Federal.

No caso da correção dos valores de oxigênio os padrões se comportaram conforme quadro 6.

<i>Padrão</i>	<i>Desvio padrão relativo ao conjunto de análises do padrão</i>	<i>Número de análises</i>	<i>Valor médio no conjunto de análises realizadas <math>\delta^{18}O</math></i>	<i>Varição absoluta com relação ao valor de referência</i>
<i>ID-1</i>	<i>0,19</i>	<i>208</i>	<i>-1,93 ‰</i>	<i>0,07 ‰</i>
<i>PG-1</i>	<i>0,15</i>	<i>429</i>	<i>-8,72 ‰</i>	<i>0,23 ‰</i>
<i>PMG-1</i>	<i>0,11</i>	<i>234</i>	<i>-14,57 ‰</i>	<i>0,07 ‰</i>

*Quadro 6 - Variação da medida dos padrões em relação ao valor de referência para Oxigênio*

Para cada corrida de análise as amostras eram intercaladas com três trios de padrões atendendo às escalas de valores com intervalos mais próximos à faixa de variação dos valores medidos. No caso do deutério e oxigênio foram mais utilizados os padrões ID-1, PG-1 e PMG-1.



## 4 CAPÍTULO IV

### 4.1 RESULTADOS

Todos os resultados de análise de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  foram comparados e corrigidos com padrões de referência para amostra de água, conforme quadros 4, 5 e 6 (páginas 37 e 38). As análises de  $\delta^{13}C$  foram conduzidas sem padrão, porém, com o espectrômetro calibrado para determinar a razão isotópica de  $CO_2$ .

#### 4.1.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE $\delta D$

Foram obtidos 473 valores  $\delta D$  que ficaram compreendidos na faixa de  $-50\text{‰}$  a  $-30\text{‰}$ , tendo uma quantidade pouco expressiva fora destes limites conforme a figura 18:

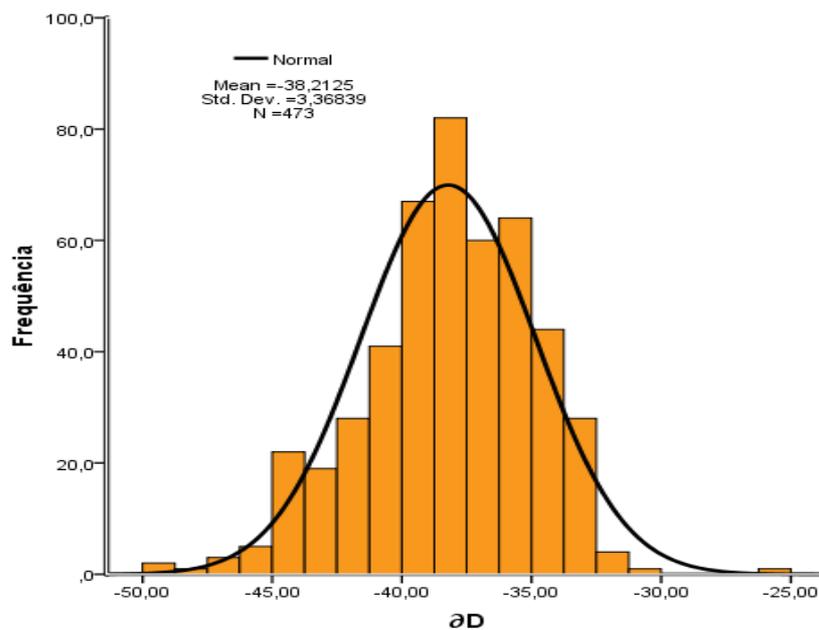


Figura 18 - Distribuição de Delta Deutério

Os 473 valores compreendem as análises de série histórica dos 26 poços selecionados para este estudo que foram monitorados durante os anos de 2009 e 2010. O  $\delta D$  médio de todos os poços é  $-38,21\text{‰}$ , com um desvio padrão de  $3,36\text{‰}$ . Apesar de o desvio ser pequeno considerando todos os valores obtidos na série estudada, quando analisamos poço a poço encontramos grandes variações durante os dois ciclos anuais, como pode ser visualizado em EPO-TAB, EPO-SBAT e EPO-BON, conforme figura 19

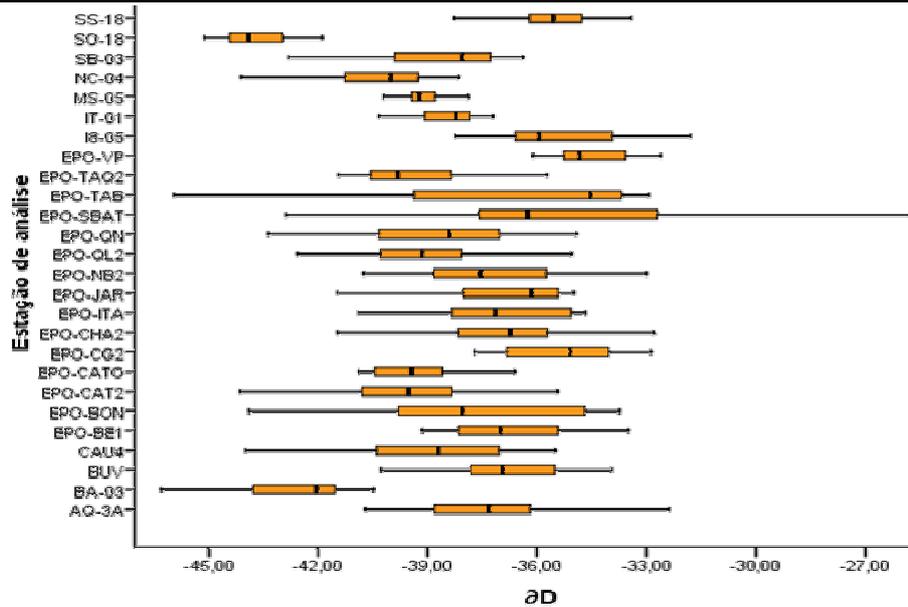


Figura 19 - Gráfico de variação de  $\delta D$  de cada poço considerando a série de fevereiro de 2009 à novembro de 2010

Considerando a sazonalidade, os valores de  $\delta D$  demonstram uma amplitude maior no período de chuva do que no período de seca, tanto no ano de 2009 quanto no ano de 2010, como pode ser observado nas figuras 20 e 21.

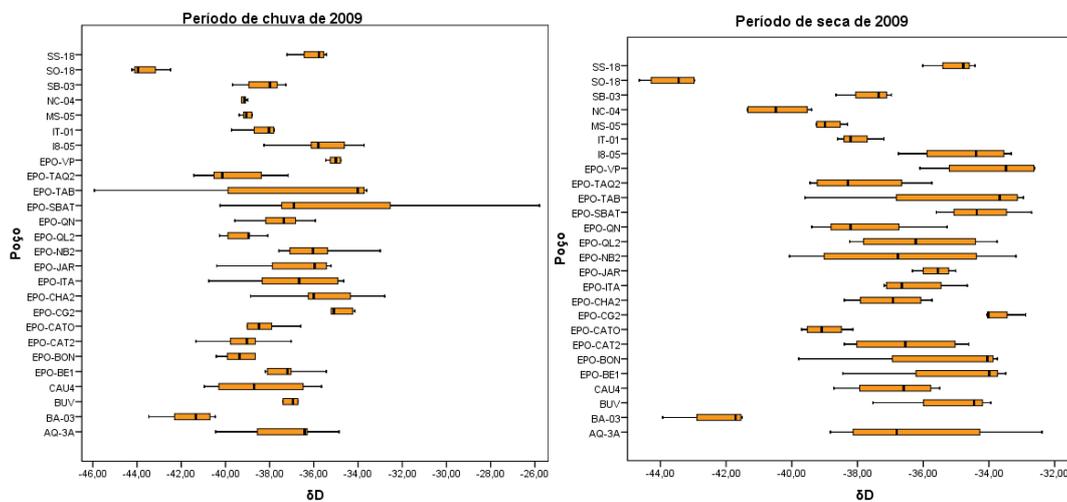


Figura 20 - Variação de  $\delta D$  no período chuvoso e de seca de 2009

Observação: o período chuvoso aqui é compreendido de outubro à maio e o período de seca de junho à setembro.

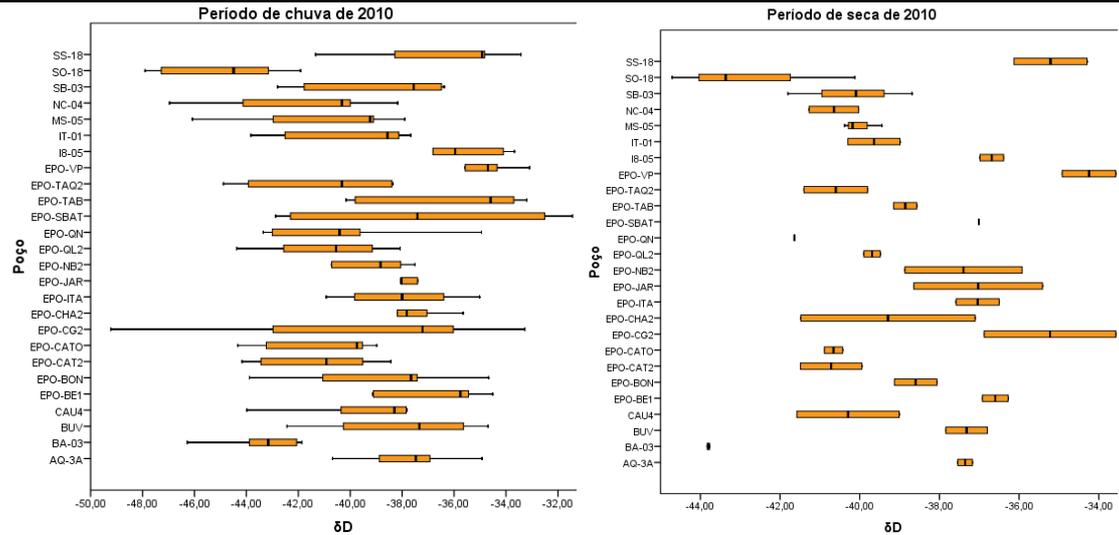


Figura 21 - Variação de  $\delta D$  no período chuvoso e de seca de 2010

. Quando consideramos a variação individual de cada poço monitorado nos dois anos, observam-se as mesmas variações que ao que parece são cíclicas tendo variações maiores ou menores em termos de amplitude, no entanto, com os mesmos sentidos de inflexões como pode ser observado nas figuras 22, 23 e 24. Vale salientar que as séries abordadas nos anos de 2009 e 2010 são diferentes, ou seja, alguns meses do ano de 2010 não foram amostrados tendo em vista a variabilidade no nível freático de alguns poços. O alto número de análises compensou as discontinuidades na amostragem o que não alterou a visualização do comportamento de variação de  $\delta D$  nestes ciclos que demonstram portanto serem coerentes com o efeito de sazonalidade.

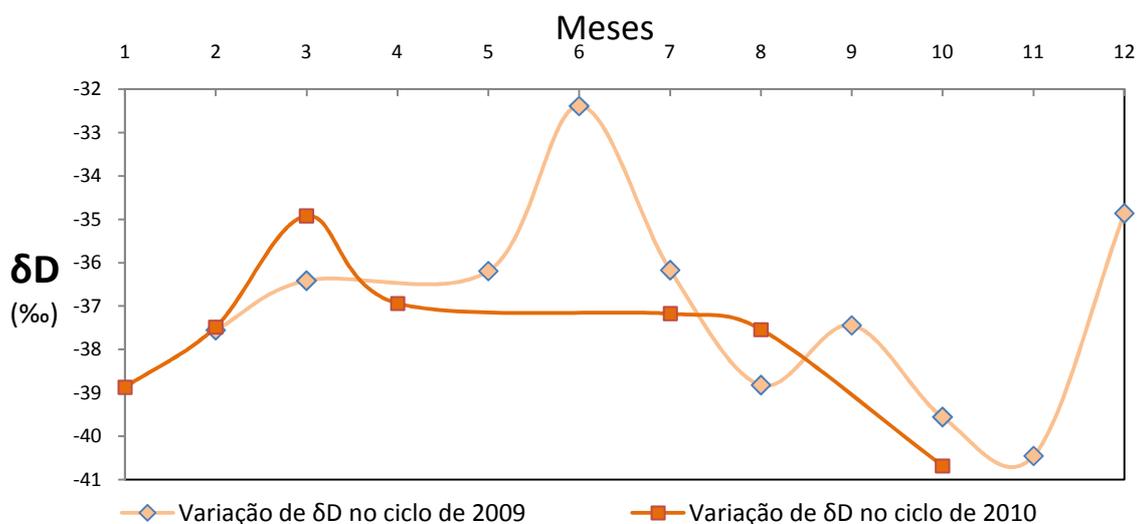


Figura 22 - Variações de  $\delta D$  nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço AQ-3A

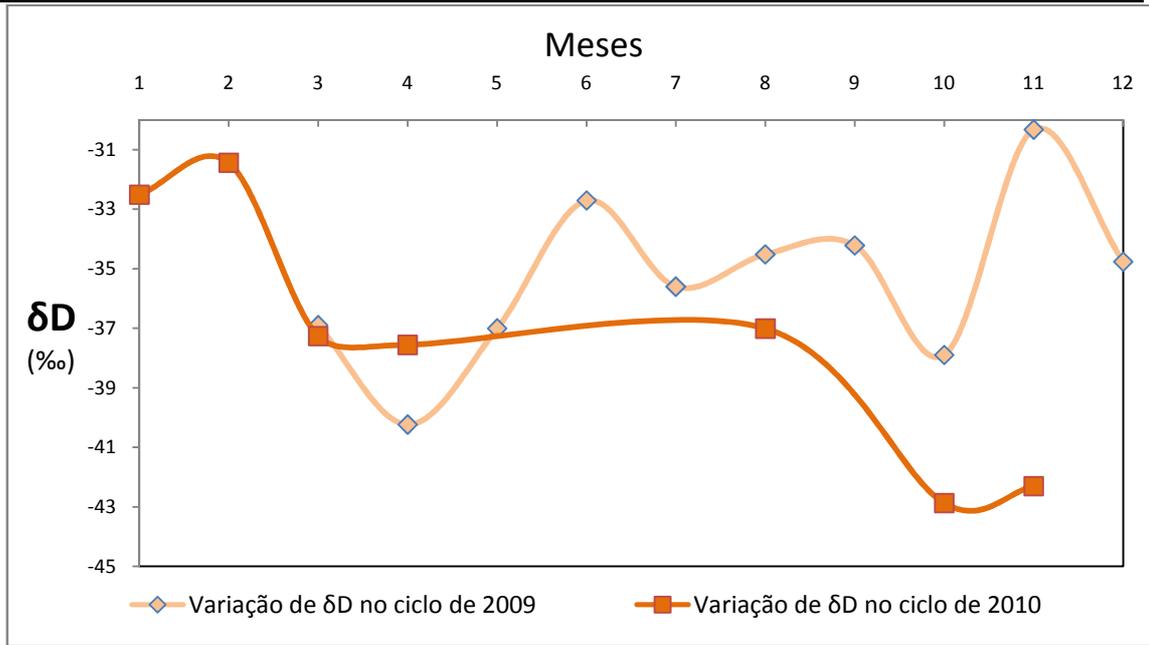


Figura 23 - Variações de  $\delta D$  nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço EPO-SBAT

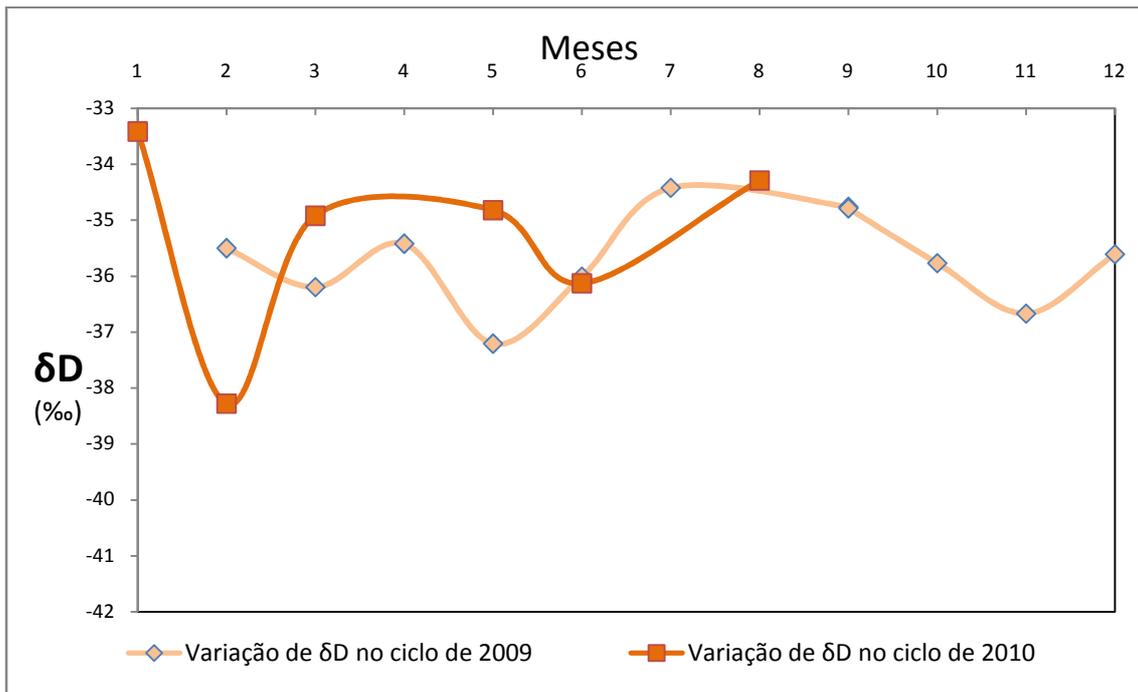


Figura 24- Variações de  $\delta D$  nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço SS-18

Em comparação à topografia do Distrito Federal percebe-se uma correlação com coeficiente  $r = 0,5$  no gráfico  $\delta D$  versus Altitude (figura 25), que pouco indica tendência com a variação da altitude.

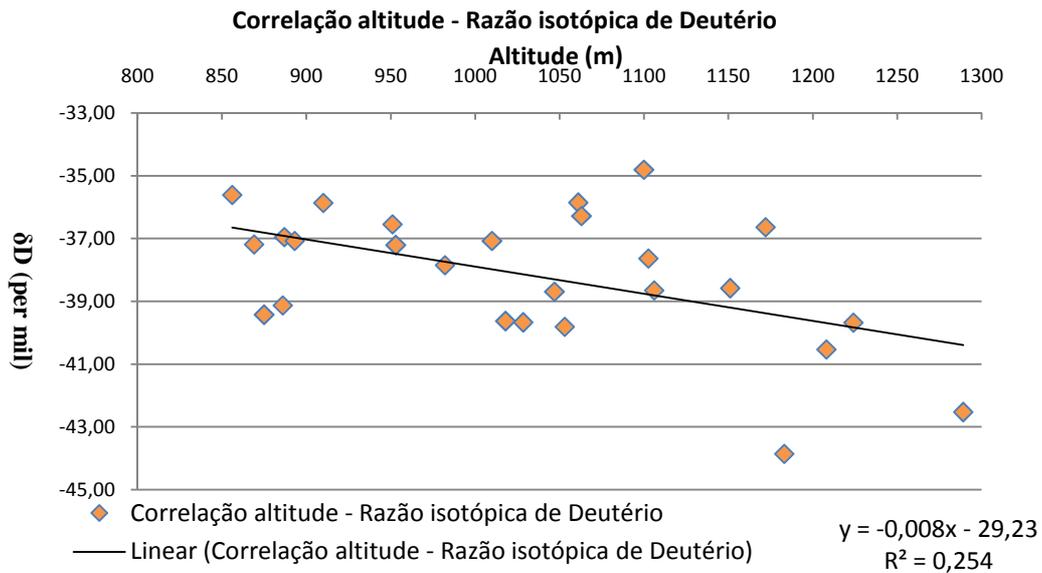


Figura 25 - Correlação de altitude com razão isotópica de Deutério

Porém quando observamos caso a caso verifica-se que os poços mais negativos encontram-se nas regiões mais altas do Distrito Federal e os menos negativos em altitudes relativamente médias ou baixas como demonstrado na figura 26 em coerência com o efeito de fracionamento de altitude, apesar de alguns pontos não obedecerem esta conformidade, a tendência é maior para esta correlação, sendo confirmada com o coeficiente de correlação  $r = 0,5$ . Ainda considerando tais observações é possível distinguir duas regiões de valores distintos de  $\delta D$ , uma mais enriquecida no isótopo mais pesado (área centro-sul do DF) e outra no isótopo mais leve (área centro-norte do DF) conforme figura 26.

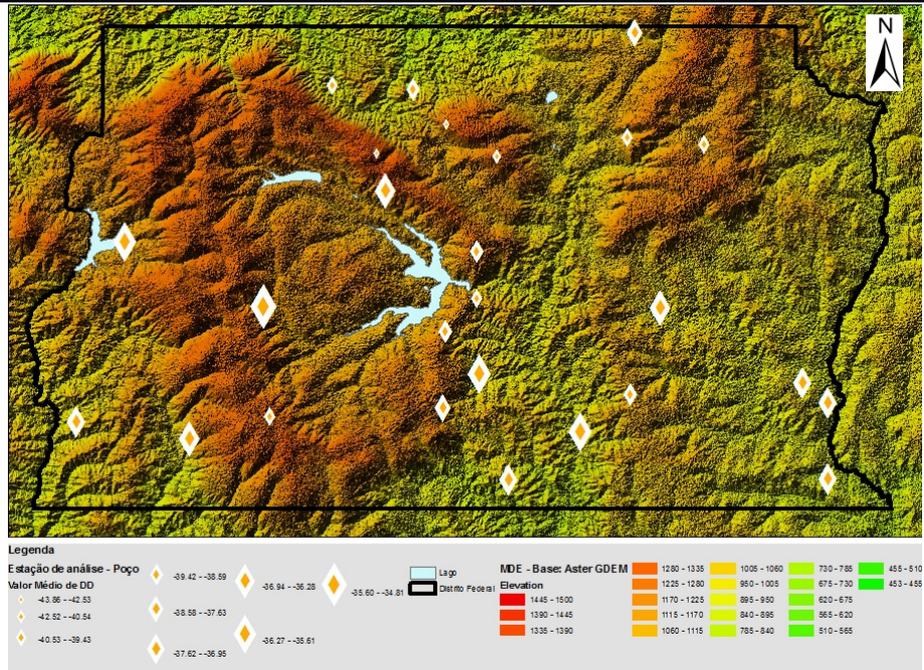


Figura 26 - Razão isotópica de Deutério e a topografia do Distrito Federal, valores médio da série 2009 a 2010

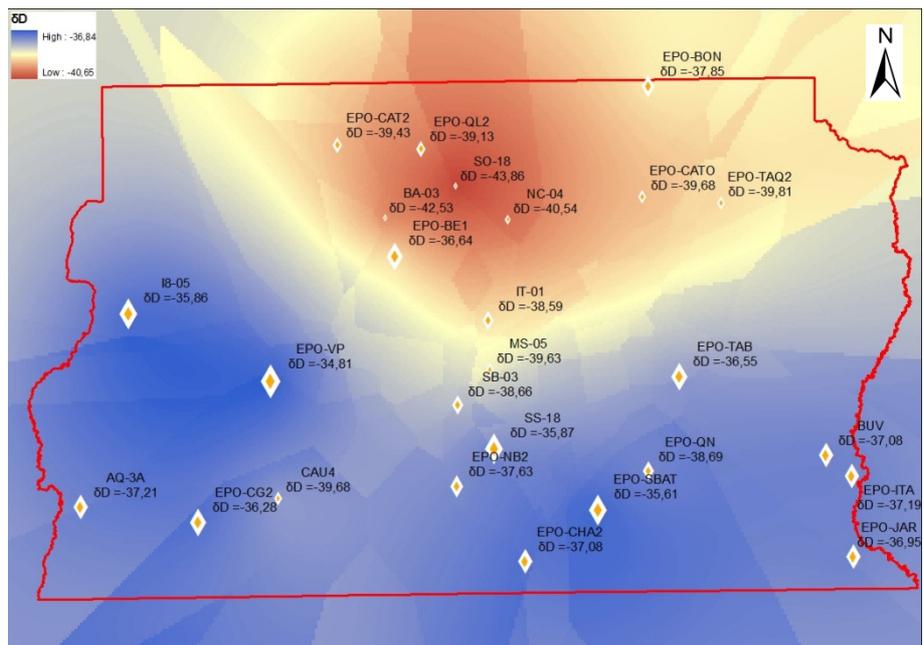


Figura 27 - Superfície de distribuição de  $\delta D$  período de 2009 a 2010, valores médios da série 2009 a 2010

Na figura 28 obtida por meio da interpolação dos dados de monitoramento de precipitação no período de 1971 a 2006 (35 anos), Gonçalves *et al.* (2009), é possível identificar as áreas com as maiores precipitações médias anuais. Em contraposição à quantidade de precipitação, estão os valores de  $\delta D$  dos 26 poços monitorados neste trabalho, sendo possível observar uma tendência de valores mais positivos associados às isoietas com médias de precipitação mais baixas e vice-versa, no entanto percebe-se



também algumas incoerências com relação a esta afirmação que podem estar associados ao excesso de deutério que neste trabalho é uma variável relevante de distorção dos valores de razão isotópica de  $\delta D$ , tendo em vista que no caso de oxigênio esta correlação é melhor apresentada. A coerência com relação ao  $\delta D$  versus topografia ou altitude com o efeito de quantidade de precipitação, não é bem retratada na figura 28, porém é provável que sem a influência de excesso de deutério a correlação da figura seja estabelecida de forma coerente. Vale ressaltar também a atipicidade de precipitação do ano de 2010 e que o período que definiu as isoietas é representativo para as médias de precipitação anuais.

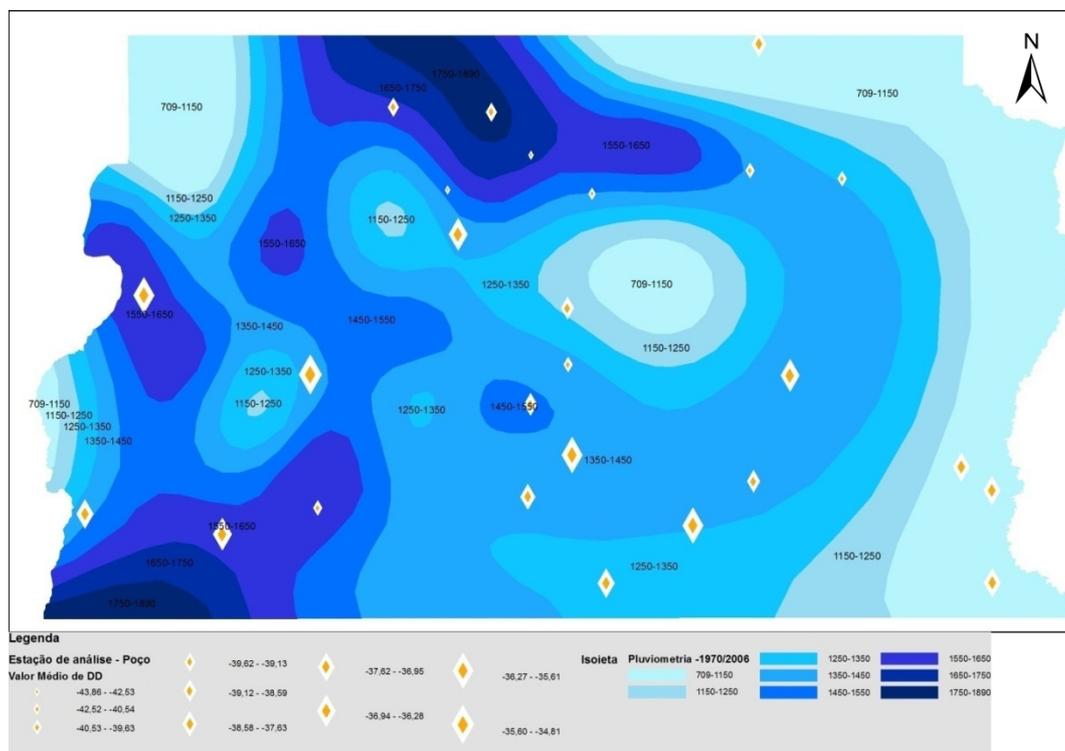


Figura 28 - Série histórica de pluviosidade do distrito Federal de 35 anos (1971 a 2006) versus valores de  $\delta D$

Adaptado de Gonçalves et. al (2009).



#### 4.1.2 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE $\delta^{18}\text{O}$

Para  $\delta^{18}\text{O}$ , foram obtidos 455 valores que ficaram compreendidos na faixa de -1,87 a -7,82 ‰, com uma quantidade de valores pouco expressiva fora destes limites conforme figura 29. Os valores considerados estão na faixa de -7,12 a -4,37 ‰, excetuando-se 4 valores que estão distribuídos entre 4 de 26 poços monitorados

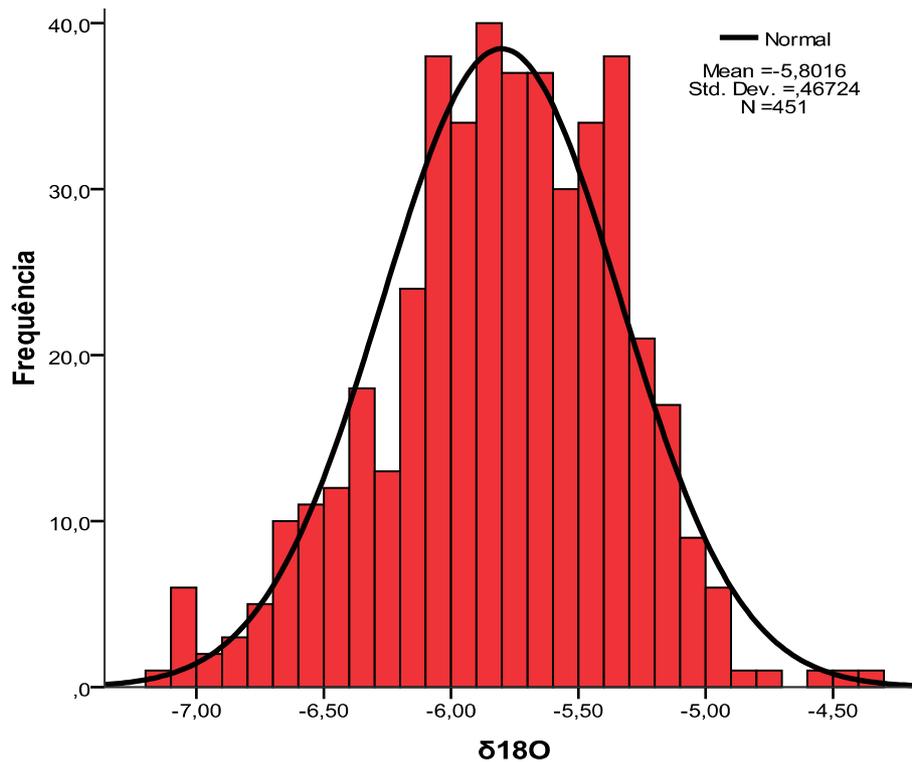


Figura 29 - Distribuição de  $\delta^{18}\text{O}$

Os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  compreendem a série histórica de 2009 a 2010, considerando os 26 poços monitorados. O valor médio de  $\delta^{18}\text{O}$  é -5,79 ‰ com um desvio padrão de toda a série de 0,53. Da mesma forma como percebido para os resultados de  $\delta\text{D}$ , os valores de  $\delta^{18}\text{O}$  com pequeno desvio padrão exibem variações relevantes quando observados mensalmente, fator este que pode estar associado aos efeitos de sazonalidade.

Na figura 30 é possível avaliar a variabilidade de cada poço considerando os anos de análise sendo que os poços que possuem maior amplitude de variação observando-se os *boxplots* são BA-03, CAU4, EPO-CAT2, EPO-CATO, EPO-QL2, EPO-TAB e SO-18.

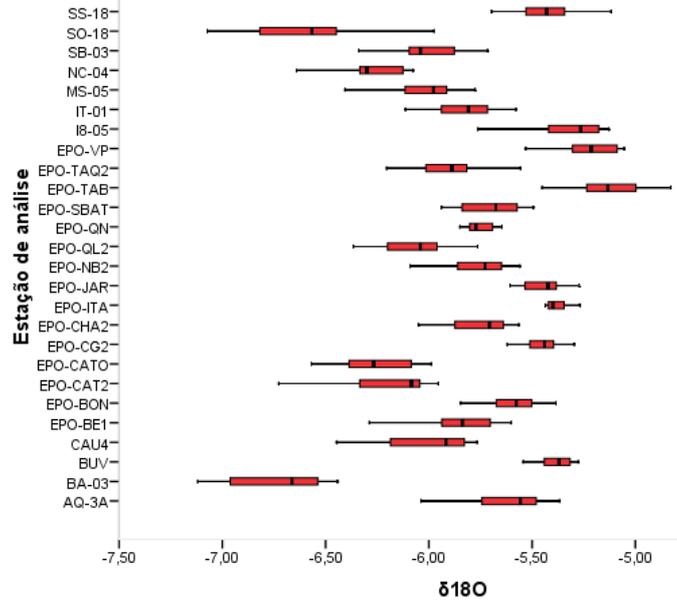


Figura 30 - Gráfico de variação de  $\delta^{18}O$  de cada poço considerando a série de fevereiro de 2009 à novembro de 2010

Quando verificamos o comportamento de  $\delta^{18}O$  com relação à influência da sazonalidade, os resultados de seca demonstram uma amplitude maior para cada poço em relação aos resultados de chuva tanto em 2009 quanto em 2010. No entanto, quando analisamos o conjunto de poços percebe-se um estreitamento da faixa de variação conforme figuras 31 e 32.

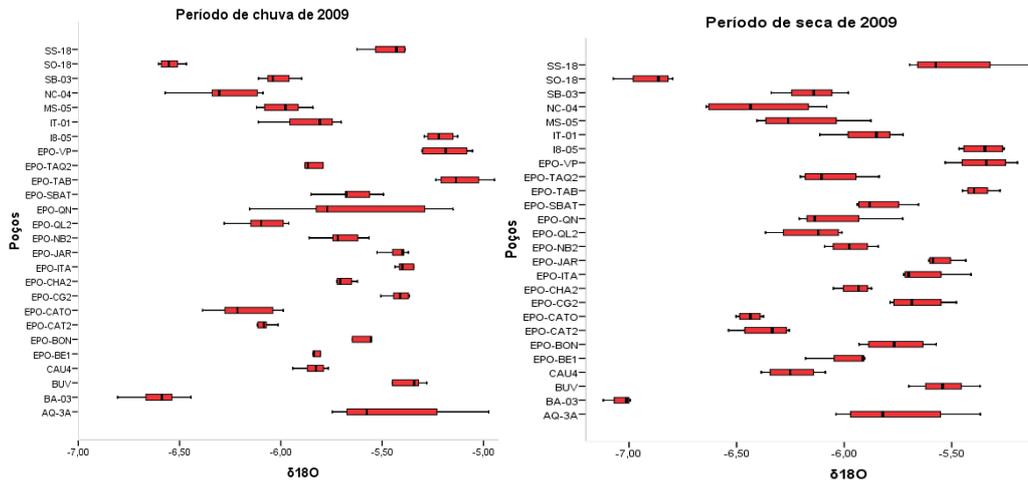


Figura 31 - Variação de  $\delta^{18}O$  no período chuva e seca de 2009

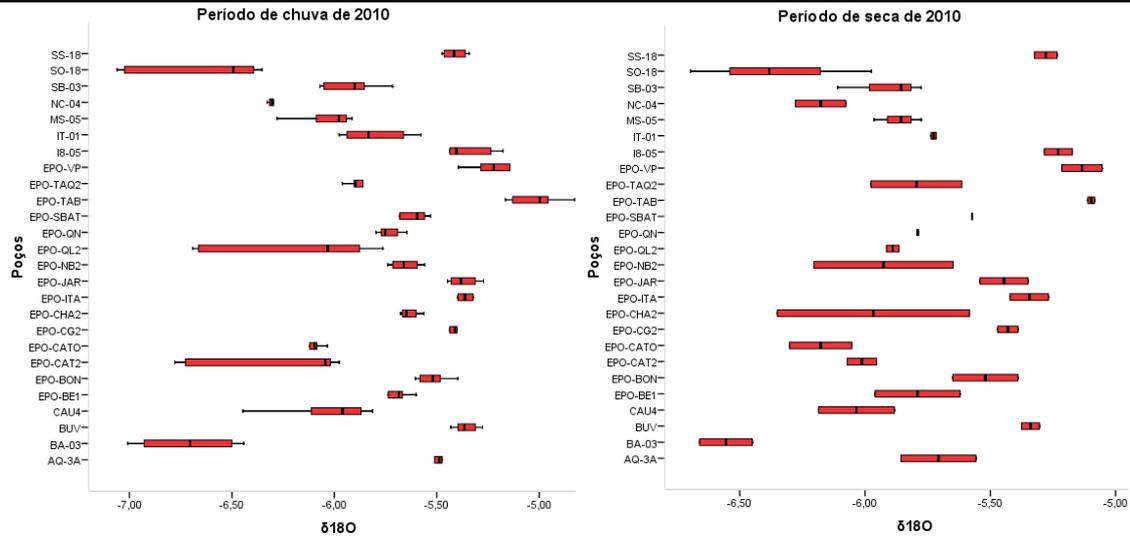


Figura 32 - Variação de  $\delta^{18}O$  no período chuva e seca de 2010

Quando se compara poço a poço, como no exemplo das figuras 33, 34 e 35, os poços AQ-3A, EPO-SBAT e SO-18, apresentam um comportamento diferenciado entre os anos de 2009 e 2010, com a constância do declínio dos valores de  $\delta^{18}O$  entre os meses de fevereiro até julho e retomada entre os meses de agosto a fevereiro.

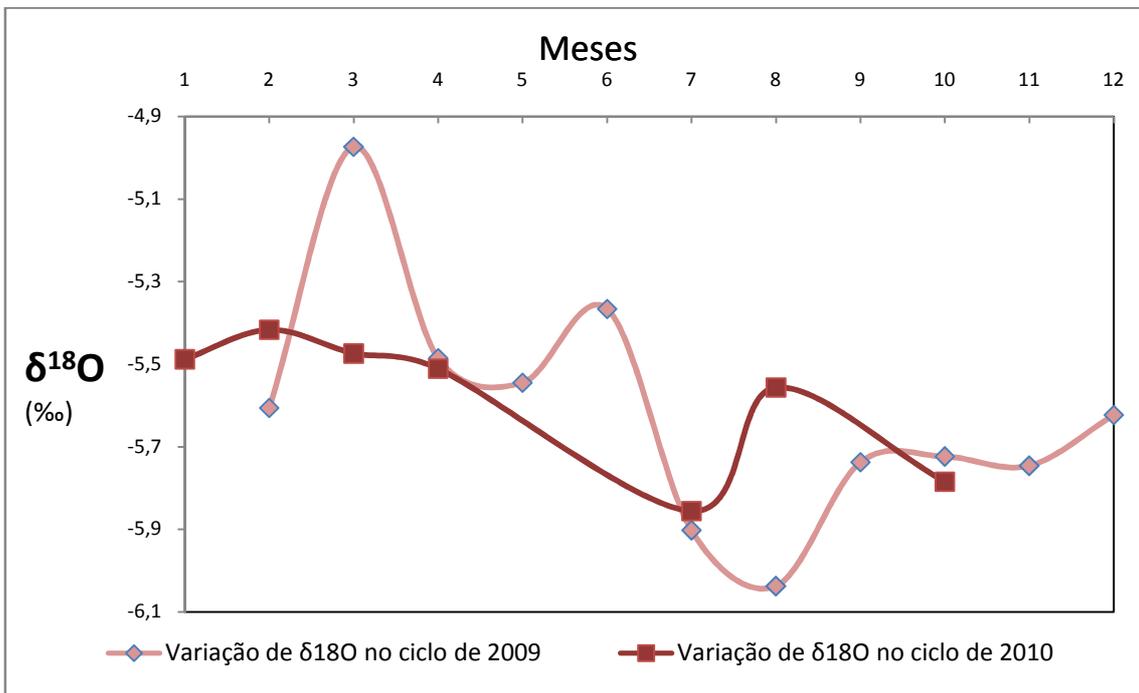


Figura 33 - Variações de  $\delta^{18}O$  nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço AQ-3A

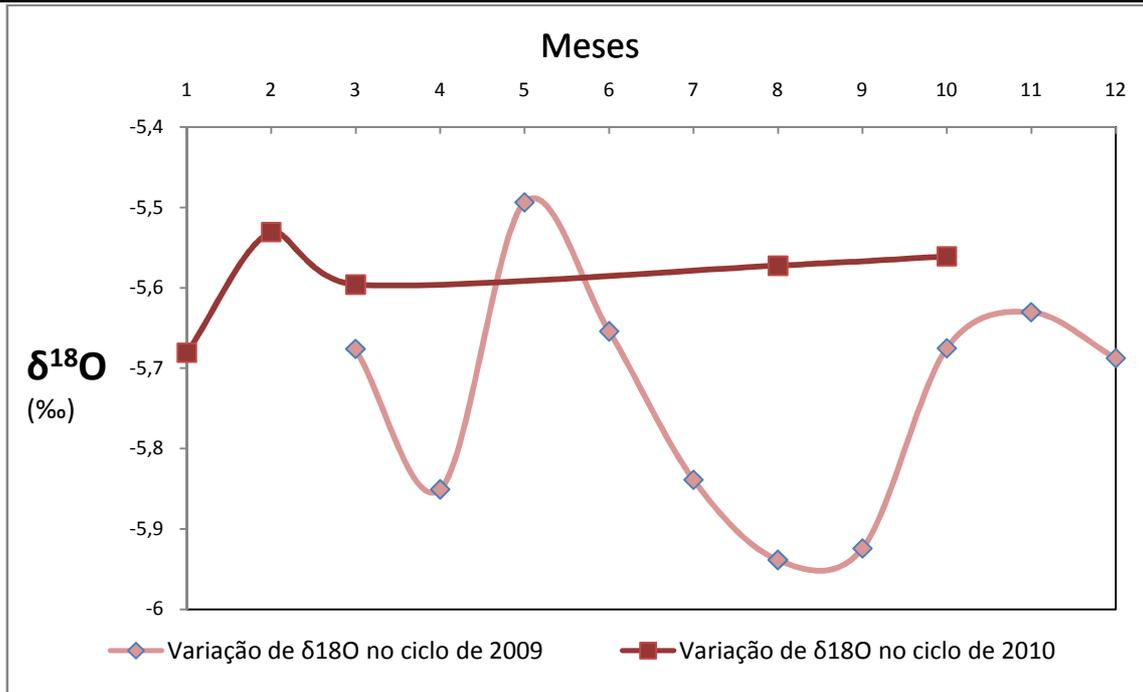


Figura 34 - Variações de  $\delta^{18}O$  nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço EPO-SBAT

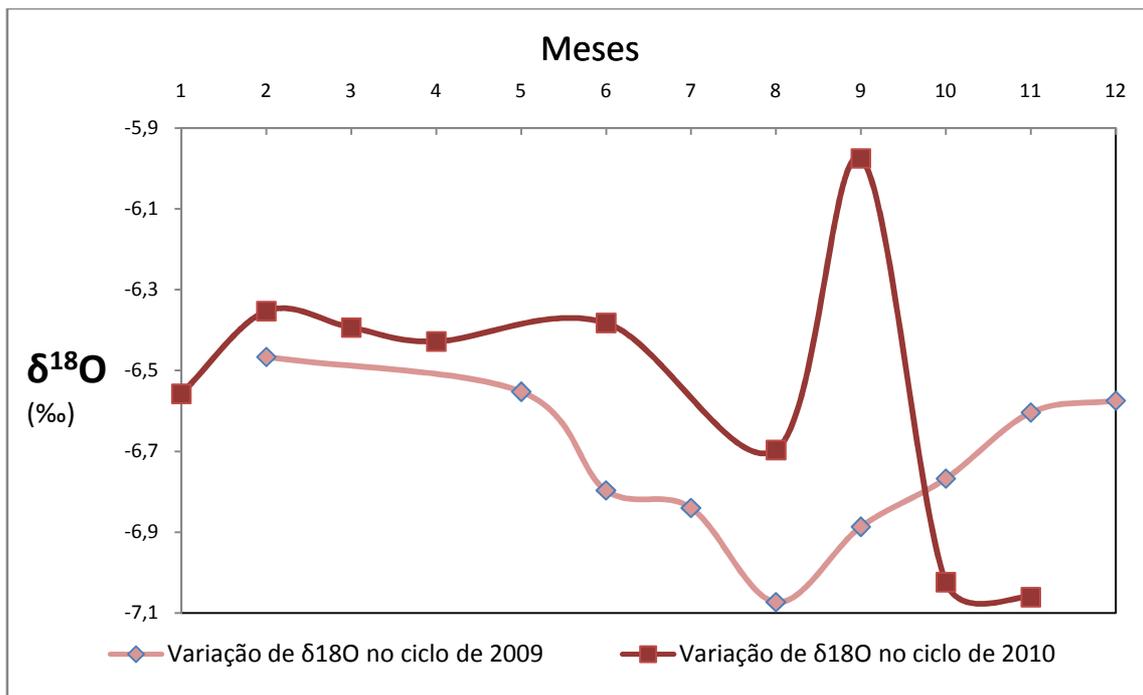


Figura 35 - Variações de  $\delta^{18}O$  nos dois ciclos 2009 e 2010 do poço SO-18

Como ocorre na correlação  $\delta D$  versus altitude a correlação entre  $\delta^{18}O$  e altitude é razoável e negativa, quanto menor a altitude, maior os valores de  $\delta^{18}O$  (figura 36), apesar de alguns pontos não obedecerem esta conformidade, a tendência é maior para esta correlação, sendo confirmada com o coeficiente de correlação  $r = 0,49$ .

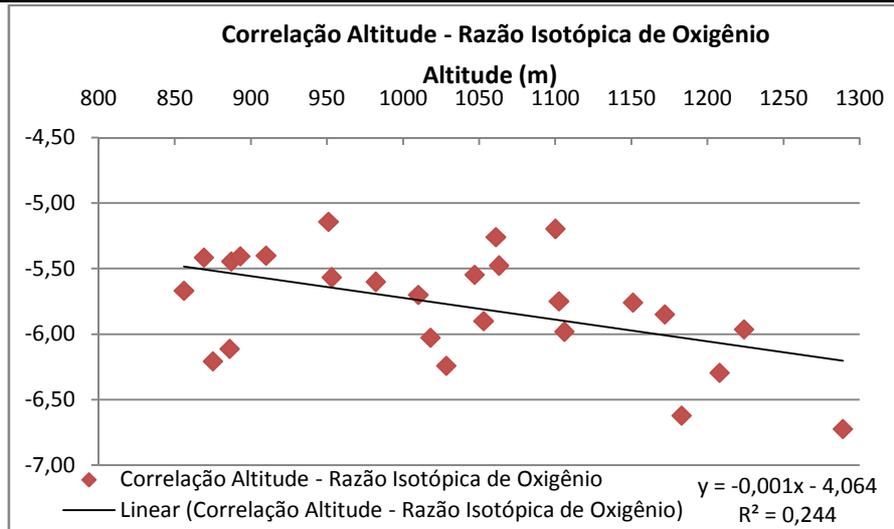


Figura 36 - Correlação de altitude com razão isotópica de oxigênio

Demonstrando também a coerência com o efeito de altitude.

A mesma relação é percebida na figura 37, em concordância com os valores observados para  $\delta D$ . A partir dos valores médios de  $\delta^{18}O$  do período de estudo foi gerada a superfície de distribuição de  $\delta^{18}O$ , na qual é fácil perceber novamente em comparação com os valores de  $\delta D$  as regiões centro-norte e centro-sul de variação nas razões isotópicas de oxigênio (figura 38). Com relação à quantidade de chuva e resultados de  $\delta^{18}O$  a figura 39 confirma a tendência de valores mais negativos para regiões com maior taxa de precipitação e valores mais positivos em regiões com taxas de precipitação relativamente mais baixas, a coerência com o efeito de quantidade de precipitação não é bem estabelecida pela figura 39, no entanto, vale ressaltar a atipicidade de precipitação do ano de 2010 e que o período que definiu as isoietas é representativo para as médias de precipitação anuais.

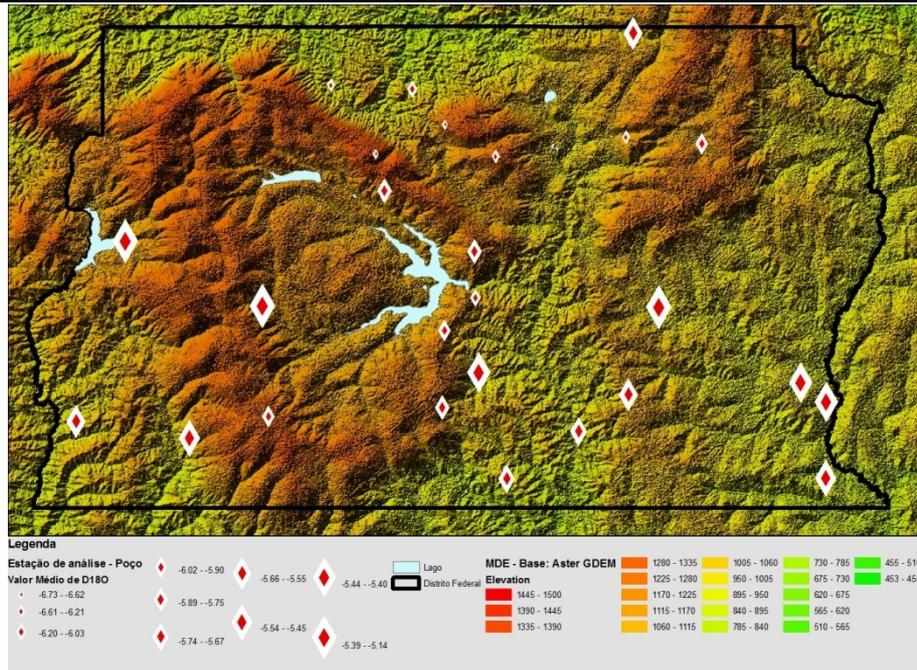


Figura 37 - Razão isotópica de Oxigênio e a topografia do Distrito Federal

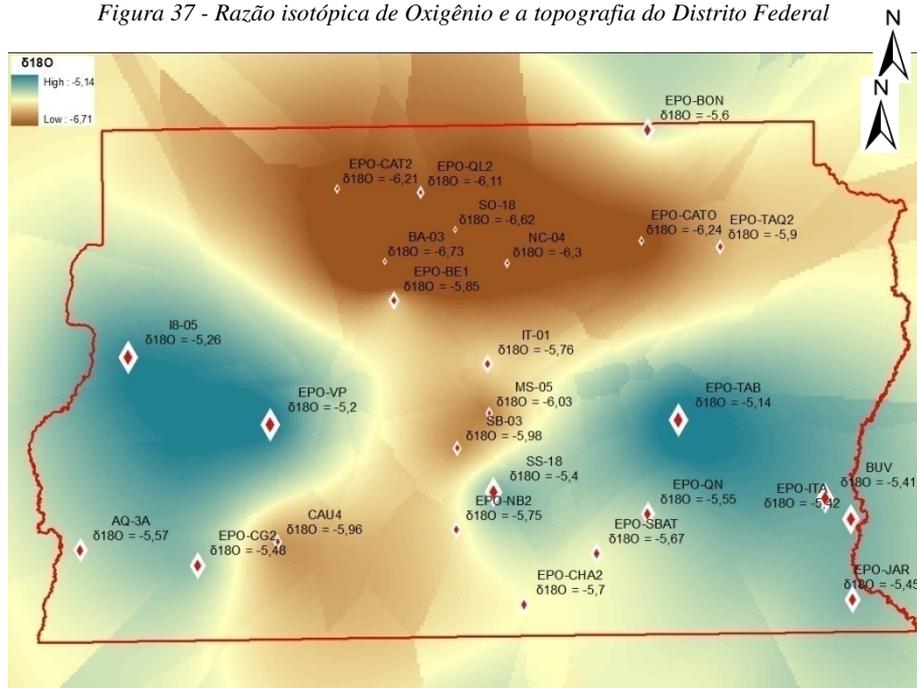


Figura 38 - Superfície de distribuição de  $\delta^{18}O$  no período de 2009 a 2010

Valores médios da série 2009 a 2010

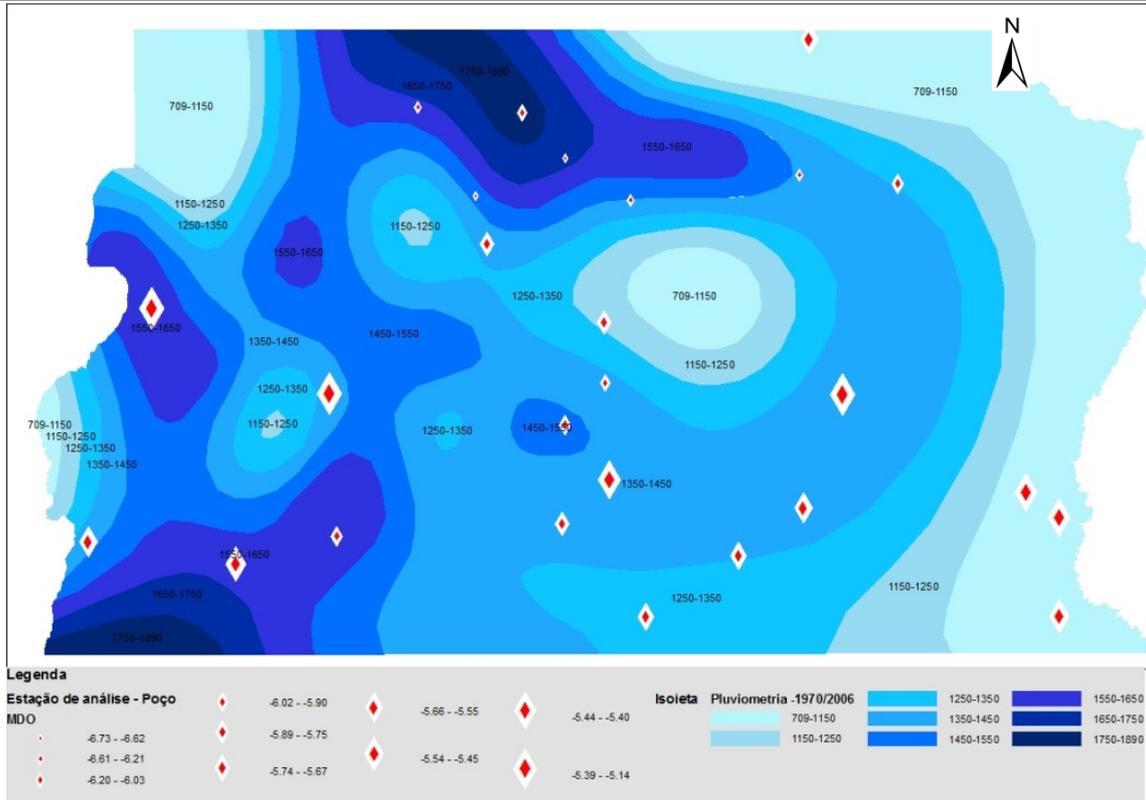


Figura 39 - Série histórica de pluviometria do distrito Federal de 35 anos (1971 a 2006) versus valores de  $\delta^{18}O$

Adaptado de Gonçalves et al. (2009)



### 4.1.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES DE $\delta^{13}\text{C}$

Foram feitas 336 análises para obter os valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . As análises não tiveram uma distribuição equitativa, motivada algumas vezes pelo rebaixamento do nível freático, outra situação a ser considerada é quanto aos resultados, algumas amostras não possuíam o conteúdo de carbono dissolvido necessário à análise ou até mesmo não possuíam qualquer concentração de carbono. A distribuição dos resultados pode ser observada na figura 40.

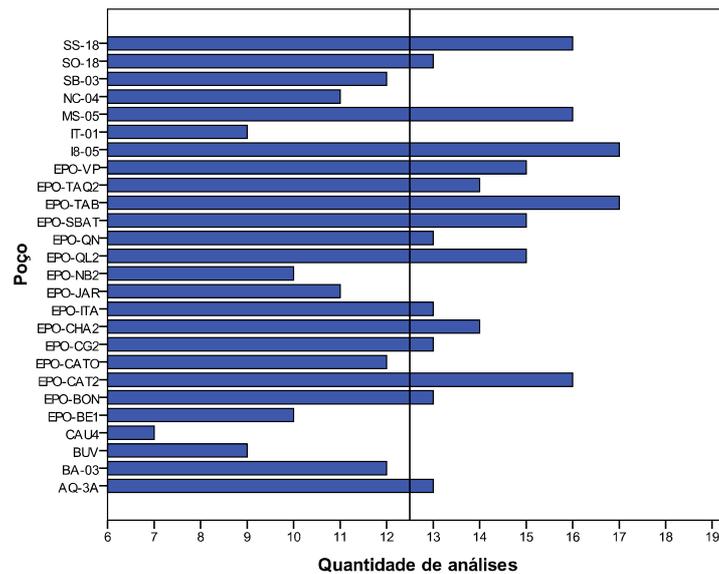


Figura 40 – Quantidade de análises de  $\delta^{13}\text{C}$  por poço monitorado na série de 2009 a 2010.

Em média foram feitas 12 análises por poço considerando a série de 2009 a 2010. Os resultados ficaram compreendidos na faixa de -2,00 a - 22,00 ‰ (figura41).

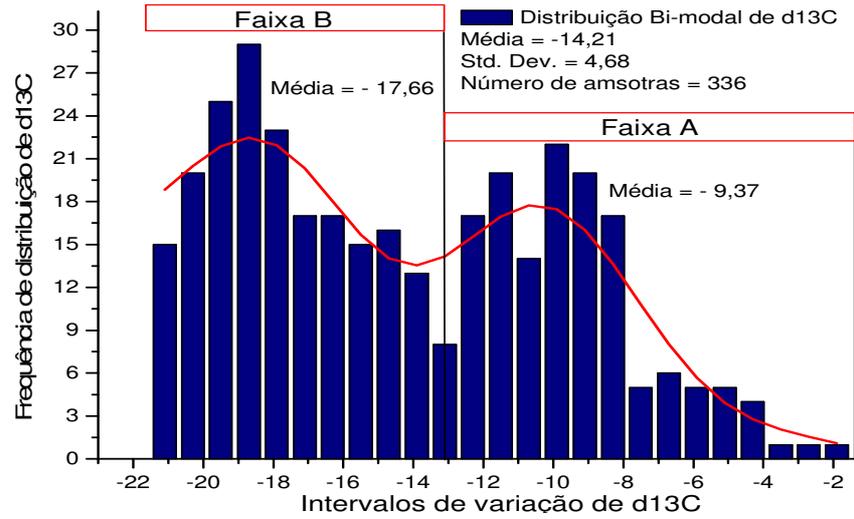


Figura 41 - Distribuição dos valores de razão isotópica de Carbono-13



No histograma de distribuição dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (figura 41) pode-se observar duas faixas de variação de  $\delta^{13}\text{C}$ ; a primeira considerando valores mais positivos de  $\delta^{13}\text{C}$ , variando entre -2 a -13,00 ‰ (denominada aqui Faixa A); e a segunda variando entre -13 a -22,00 ‰ (denominada Faixa B). A maior parte dos resultados de  $\delta^{13}\text{C}$  possui acima de 12 análises cada poço, conforme a figura 40. Considerando toda a série estudada, percebe-se que alguns poços possuem resultados dentro das duas faixas (A e B), o critério para classificá-lo dentro de uma das faixas é em função da maioria de seus resultados, ou seja, um poço com a maior parte de seus resultados dentro do intervalo de -2 a -13 ‰ possui um comportamento mais semelhante ao da faixa A do que da faixa B.

Na figura (42-A) podemos observar a distribuição dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e suas frequências relativas dentro da faixa A, e na figura (42-B) a quantidade de análises de cada poço relativo à faixa A.

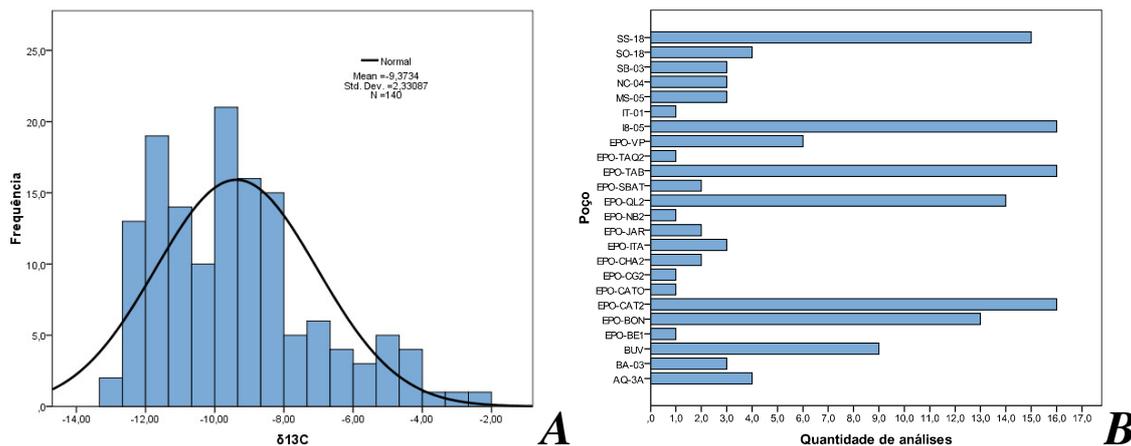


Figura 42 - Faixa de variação de  $\delta^{13}\text{C}$ , -2 a -13 ‰ e quantidade de análises de cada poço.

Considerando que no geral cada poço teve no mínimo 10 análises com exceção dos poços IT-01, CAU4 e BUV (figura 40), observando a figura 41-B é certo que os poços com mais de 10 análises devem ter um comportamento mais aproximado à faixa A, portanto, para este estudo foram classificados na faixa A (-2 a -13 ‰) os seguintes poços: EPO-BON, EPO-CAT2, EPO-QL2, EPO-TAB, I8-05, SS-18 e BUV, este último com nove análises e todos os seus valores de  $\delta^{13}\text{C}$  dentro da faixa A.

Considerando a distribuição espacial destes poços, a maioria está localizada em áreas verde ou agrícola, nenhum poço está posicionado em região de chapada. Na figura 43 é possível observar a posição geográfica destes poços no Distrito Federal e a condição do relevo que os contempla.

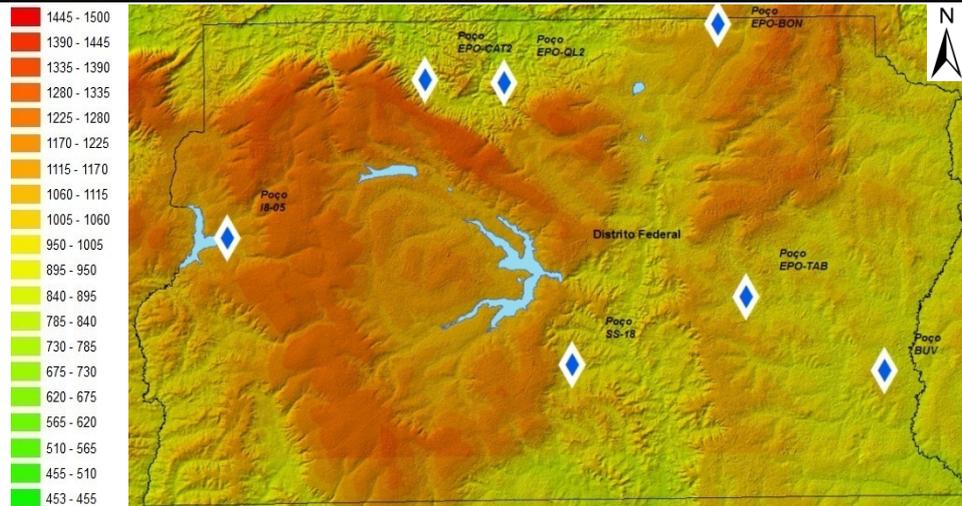


Figura 43 - Poços com valores de  $\delta^{13}C$  na faixa de -2 a -13 ‰

BUV, EPO-BON, EPO-CAT2, EPO-QL2, EPO-TAB, I8-05 e SS-18, a legenda à esquerda refere-se as valores de altitude em metros.

Considerando a faixa de valores de  $\delta^{13}C$  de -13 a -22 ‰ a distribuição dos resultados demonstra que a maior parte dos dados se concentra entre -17 a -21 ‰ conforme figura 44 A.

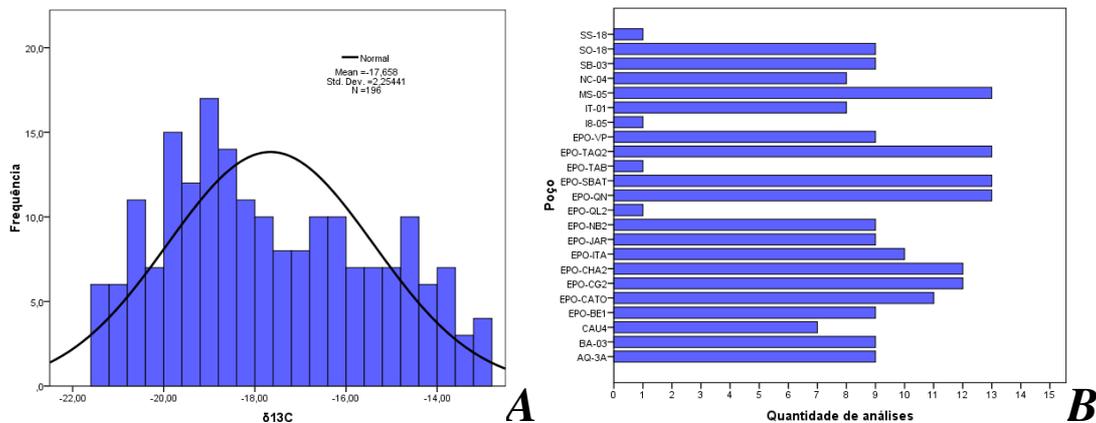


Figura 44 - Segunda faixa de variação de  $\delta^{13}C$ , -13 a -22,00‰ (faixa B) e quantidade de análises de cada poço nesta faixa.

Nesta faixa de variação cada poço teve no mínimo nove análises com exceção dos poços NC-04, IT-01 e CAU4 que tiveram considerando toda série de análises 11, 9 e 7 análises respectivamente, estes poços tiveram a maioria de seus valores dentro da faixa B (-13 a -22 ‰). Os poços que estão dentro da faixa referida são, portanto, SO-18, SB-03, NC-04, MS-05, IT-01, EPO-VP, EPO-TAQ2, EPO-SBAT, EPO-QN, EPO-NB2, EPO-JAR, EPO-ITA, EPO-CHA2, EPO-CG2, EPO-CATO, EPO-BE1, CAU4, BA-03 e AQ-3A. Dentro da faixa B os poços EPO-ITA, EPO-JAR e EPO-SBAT possuem a maioria de seus valores na faixa de -13 e -18 ‰.



Na figura 45 é possível observar a posição geográfica destes poços no Distrito Federal e a condição do relevo que os contempla.

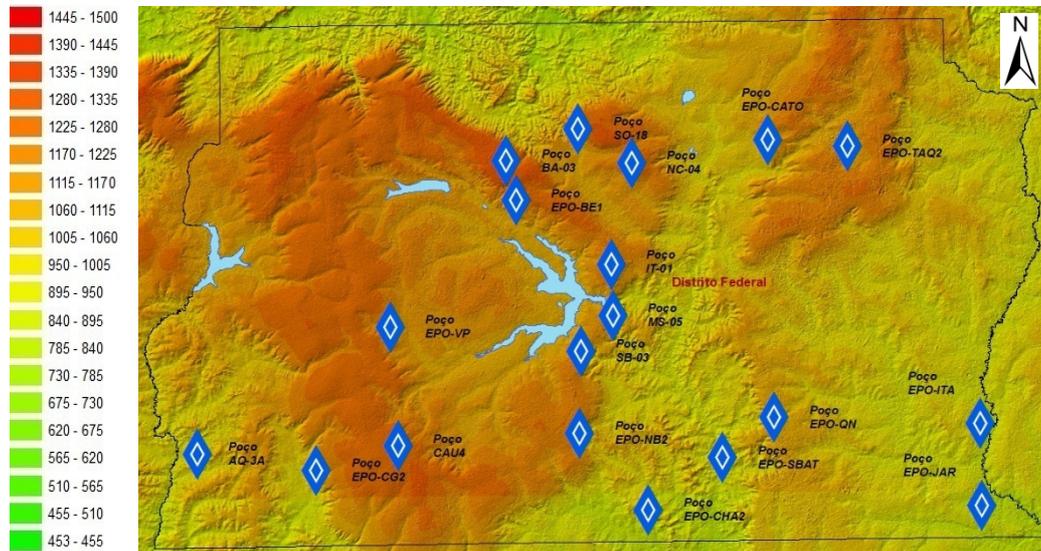


Figura 45 - Posicionamento geográfico dos poços com valores de  $\delta^{13}C$  na faixa de -13 a -22 ‰ (faixa B).

Poços: AQ-3A, BA-03, CAU4, EPO-BE1, EPO-CATO, EPO-CG2, EPO-CHA2, EPO-ITA, EPO-JAR, EPO-NB2, EPO-QN, EPO-SBAT, EPO-TAQ2, EPO-VP, IT-01, MS-05, NC-04, SB-03 e SO-18, a legenda à esquerda refere-se a viores de altitude em metros.



## 5 CAPÍTULO V

### 5.1 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos durante os anos de 2009 e 2010 dos isótopos estáveis de  $\delta D$ ,  $\delta^{18}O$  e  $\delta^{13}C$ , permitiram observar diversas lógicas de comportamento da água subterrânea associadas à topografia regional, aos regimes de chuva, à geologia local, ao padrão de uso de solo do Distrito Federal e ainda compreender o distinto comportamento da correlação  $\delta D \times \delta^{18}O$  que ocorre nas águas subterrâneas tendo em vista que a origem primária de seu sinal são as águas meteóricas. Os isótopos estáveis de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  tiveram relevância na suposição de um sistema de contribuição entre aquíferos conseqüente das diferenças sazonais e, em comparação com as águas meteóricas, foi possível uma efetiva conclusão de atenuação dos valores de razão isotópica da água entre a atmosfera/superfície e o domínio fraturado, também avaliando o efeito de excesso de deutério foi possível identificar um comportamento diferenciado entre as áreas agrícolas e demais áreas do Distrito Federal principalmente quando se considera no período de estiagem o uso da água para a irrigação. Os valores de  $\delta^{13}C$  como dito anteriormente abrangem um amplo espectro de variação que cobrem respostas que podem estar associadas à dissolução de carbonatos, degradação de matéria orgânica e interação com solos ricos em espécies de plantas  $C_3$  e  $C_4$ . Esta variação trouxe dificuldade na interpretação dos dados pela ausência de informações sobre o conteúdo de  $\delta^{13}C$  de rochas e tipo de vegetação da superfície, permitindo para este momento, traçar possíveis rotas desde o contato das águas meteóricas com a superfície e percolação até o domínio aquífero fraturado.

#### 5.1.1 ATENUAÇÃO DO SINAL ISOTÓPICO DAS ÁGUAS METEÓRICAS

Para os reservatórios de água subterrânea estudados foi encontrado na correlação  $\delta D/\delta^{18}O$  o intercepto no eixo dependente de  $-11,60 \text{ ‰}$  com um fator de inclinação de 4,6 (figura 46). Este, muito próximo ao valor encontrado na literatura para águas evaporadas - figura 10(A). O valor de excesso de deutério é proveniente de processos repetitivos de evaporação associados tanto ao período de seca quanto ao período de chuva, às características de uso do solo e aos processos de refluxo de água subterrânea.



Os resultados obtidos de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  sem considerar as características superficiais, geológicas entre outras, nas quais estão localizados os poços amostrados projetou uma correlação de  $\delta D / \delta^{18}O$  com os seguintes parâmetros:

$$\delta D = 4,60 \times \delta^{18}O - 11,60 \text{ eq.02}$$

A Linha de Água Meteórica Local obtida do monitoramento de 1967 a 1987, pela Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA e Organização Mundial de Meteorologia – WMO, na estação Brasília – Aeroporto proveu a seguinte equação para a correlação das águas meteóricas da região do Distrito Federal:

$$\delta D = 7,78 \times \delta^{18}O + 10,38 \text{ eq.03}$$

A linha de água meteórica local até o ano de 1987 manteve-se muito próxima à linha da água meteórica global, com diferenças suaves na inclinação e o na projeção dos valores de  $d$  – excesso de deutério (intercepto no eixo das ordenadas da correlação  $\delta D/\delta^{18}O$ ).

O fornecimento de água aos aquíferos é provido pelo ciclo sazonal da águas meteóricas, algumas com vapor de água proveniente da bacia amazônica e por outras vezes provenientes da região do atlântico subtropical e região sul. A chegada da chuva e o processo de percolação promovem a distorção nos parâmetros de correlação da equação 03, associado aos diversos processos de uso do solo, condições de sazonalidade, efeitos de latitude, altitude, continentalidade, temperatura, quantidade de precipitação e principalmente as ocorrências de trocas isotópicas. Na figura 46 pode se observar o comportamento entre cada curva.



O gráfico à direita (figura 46) representa a faixa de valores próxima aos encontrados nos 26 poços monitorados entre os anos de 2009 e 2010 no presente estudo. Observa-se o desvio obtido a partir do sinal medido da água subterrânea com as fontes de recarga (água meteórica) que seguem a Linha de Água Meteórica Global.

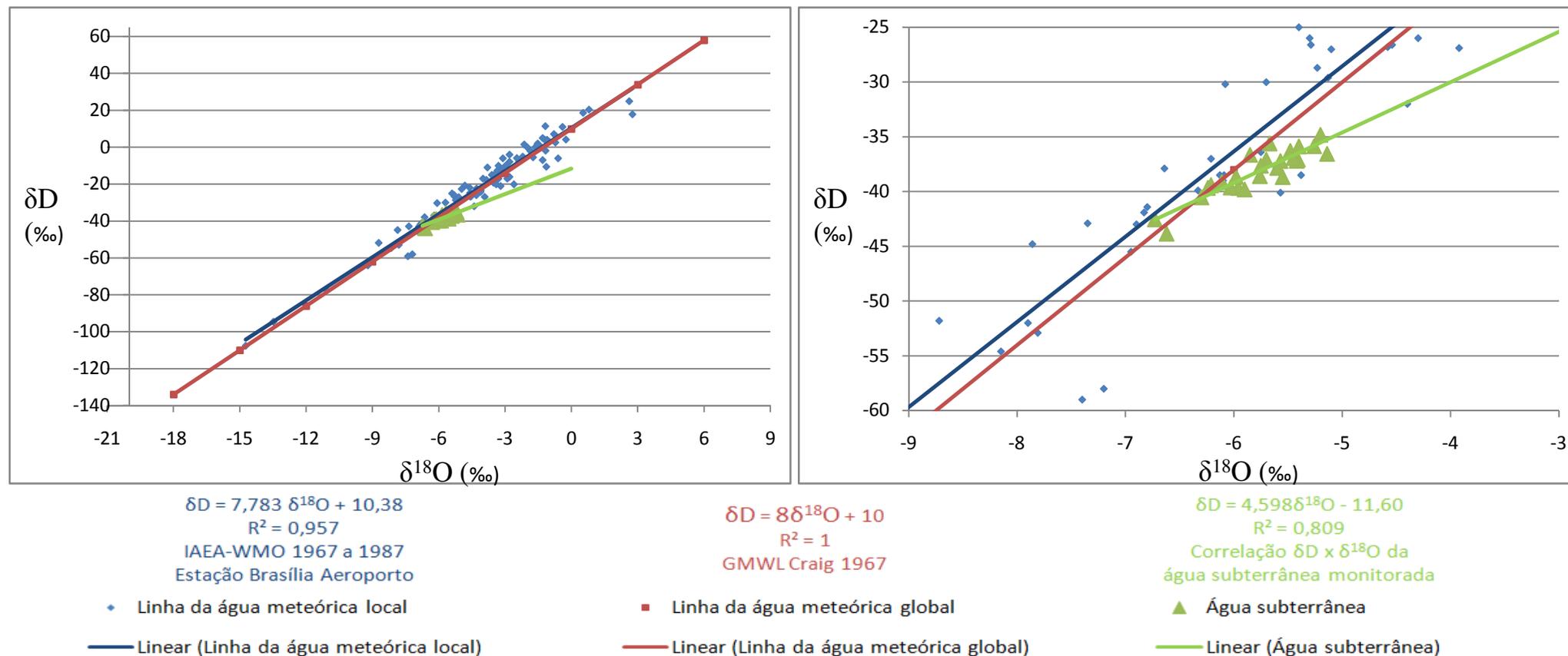


Figura 46 - Comparações entre a linha de água meteórica global (Craig, 1967), linha de água meteórica local (IAEA - WMO estação Aeroporto - Brasília) e sinal de razão isotópica da correlação  $\delta D \times \delta^{18}O$  dos valores médios dos 26 poços monitorados durante os anos de 2009 e 2010 no presente estudo.



## 5.1.2 EFEITO NO EXCESSO DE DEUTÉRIO DOS PROCESSOS SUPERFICIAIS - IRRIGAÇÃO

Considerando a sazonalidade vale ressaltar que da área superficial do Distrito Federal, aproximadamente 581.071,14 ha, 37 % são destinados praticamente à produção agrícola, sendo que destes, 5,3 % são áreas de lavouras e culturas com processo de irrigação exaustivo no período de seca, utilizando o sistema de pivôs centrais em uma área aproximada de 11.412,43 ha (figura 47). Sandri e Cortez (2009) afirmam que os pivôs centrais são motivados na produção agrícola pela possibilidade de obter alta eficiência de aplicação e distribuição de água. Vale ressaltar em termos práticos, que, utilizando volumes de água considerando várias regiões do Distrito Federal os sistemas de aspersão (com maior contribuição de pivôs centrais) compõem os mais eficientes em consumo, não sendo significativamente diferente dos demais, conforme Christofidis (2000) em resumo apresentado no I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste. A irrigação no Distrito Federal ocorre por diversos métodos (sulco, inundação, aspersão convencional, pivô central, autopropelido, microaspersão e gotejamento) e contemplava no ano de 1997 uma área 11.236,81 ha com uma demanda diária de 970.848 m<sup>3</sup> de água representando naquele período 65,8 % do consumo de água praticado no Distrito Federal (Christofidis, 2000). Em caso hipotético, e considerando somente as práticas agrícolas por meio do método de pivôs centrais; o potencial máximo de um pivô central pode demandar o volume de 3.350 m<sup>3</sup>/dia a cada 50 ha de irrigação com perda de 10 % por processo de evaporação conforme Lima (2008). Dessa forma, as áreas de irrigação por pivô central no Distrito Federal projetariam uma estimativa de consumo de 764.632,81 m<sup>3</sup> diários com perda de 76.463,28 m<sup>3</sup> por evaporação.

No período de seca parte das águas superficiais do Distrito Federal são mantidas pelo fluxo originado dos aquíferos existentes na região. Tendo em vista que o DF possui várias nascentes e se estimarmos a demanda por irrigação para o período de seca, chega-se a um volume de 95,6 milhões de m<sup>3</sup> (considerando uma seca de 125 dias) necessários à irrigação somente por pivôs centrais neste período. Esse volume corresponde a quase 1/5 da água acumulada no lago Paranoá que possui um volume total de 510 milhões de metros cúbicos conforme dados do Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal (Campana *et. al.*, 1998). Com a evaporação neste período de 9,6 milhões de metros cúbicos em função de água de irrigação por pivôs centrais e, retorno para os aquíferos



(domínio poroso) por infiltração de um quantitativo considerável, é possível que a prática agrícola no Distrito Federal tenha relevância na atenuação do sinal isotópico proveniente das águas meteóricas e contribua comparativamente mais para valores mais negativos de excesso de deutério, projetando o intercepto no eixo das ordenadas da correlação  $\delta D/\delta^{18}O$  para -11,6 ‰ dentre outros fatores existentes na região.

Compondo os valores de consumo de água pelo método de pivôs centrais pode-se estabelecer a relação comparativa com mm de chuva para se ter uma idéia da relevância deste processo no refluxo de águas subterrâneas. Considerando a ação exaustiva do sistema de pivôs centrais para compensar a não observância dos outros métodos de irrigação teríamos um volume diário de 3.350 m<sup>3</sup> para uma área de 50 ha, passando estes números à unidade de medida de precipitação teríamos um valor de 6,7 L/m<sup>2</sup>, ou seja, 6,7 mm de precipitação “artificial” diária. Para o período de seca considerado, chegaríamos a uma estimativa de 837,5 mm de precipitação artificial, uma quantidade de volume de água extraída das drenagens e parcialmente re-infiltrada no sistema aquífero absolutamente comparativa aos volumes normais de precipitação anual que possui sua representatividade nos períodos de chuva. Isto implica possivelmente que a carga hidráulica nas regiões de alta intensidade agrícola tenda a ser constante ou pouco variável mesmo nos períodos de seca. Relacionando a proporção deste volume de precipitação artificial com as taxas de infiltração considerando os valores encontrados por Araujo *et al.* (2007) em 125 dias na menor taxa de infiltração esta água teria migrado aproximadamente 63 m, valor muito próximo às maiores espessuras do Sistema Aquífero Domínio Poroso conforme Campos (2004), considerando a segunda menor taxa encontrada por Araújo *et al.* (2007) em 58 dias este volume de água teria atingido o Sistema Aquífero Domínio Fraturado.

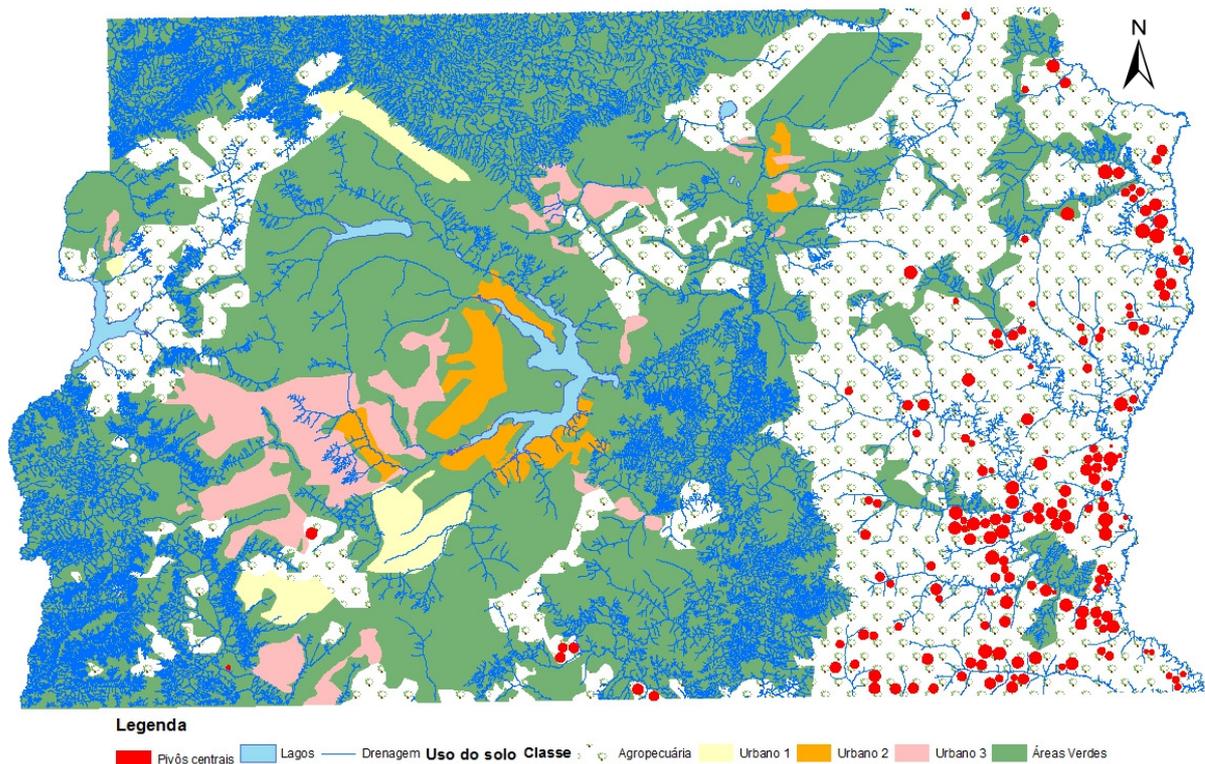


Figura 47 - Distribuição dos sistemas de irrigação com o método de pivô central. Hoje é possível identificar um número de 173 pivôs centrais no Distrito Federal com área média de 66 ha.

O volume de infiltração desta água em primeiro momento no domínio poroso pode ser insuficiente ou não, para atingir a carga hidráulica necessária à transmissão para o domínio fraturado, na ausência de resistência hidráulica o processo de infiltração provavelmente não cessa. No caso de resistência hidráulica, pode ocorrer um intervalo de tempo para o domínio fraturado sentir os efeitos de fracionamento provenientes do processo intenso de irrigação e evaporação. É provável que não ocorra uma redução efetiva da carga hidráulica ou fluxo de águas superficiais (neste caso por sistema de refluxo) nesta região no período de seca e o Domínio Fraturado esteja sensível ao processo de irrigação mesmo no período de estiagem refletindo valores de excesso de Deutério mais negativos e o intercepto da ordenada na correlação  $\delta D/\delta^{18}O$  em  $-17,89\%$  conforme a figura 49.

Uma possibilidade de acompanhar este processo seria medir os valores de razão isotópica em dois momentos: nos últimos três meses do período de seca em poços tubulares de pouca profundidade e próximos às áreas de grande concentração de sistemas de irrigação com pivôs centrais, e nos períodos de chuva em poços do domínio fraturado dois meses após o início das chuvas, considerando que o tempo de transmissão destas águas possa ser em



períodos de poucos meses, conforme Cadamuro (2002) *Apud* Lousada e Campos (2005), baseado no comportamento das nascentes de fraturas localizadas nas áreas de afloramentos rochosos, nota-se o aumento de vazão após 45 dias ou dois meses do início das chuvas. Sendo o tempo de residência maior, há necessidade de se fazer um acompanhamento mais duradouro e com maior número de variáveis. Pelo estudo presente sabe-se que os poços profundos localizados nas áreas com uso destinado à prática agrícola possuem diferenças na inclinação e intercepto da ordenada na correlação  $\delta D/\delta^{18}O$  em relação aos demais poços amostrados.

No processo evaporativo, as influências sazonais implicam em taxas de umidade relativa do ar distintas nos períodos de seca e chuva (figura 48). O período de seca é marcado por taxas de umidade relativa do ar entre a faixa de 50 a 70 %, observando-se a média das taxas mínimas mensais em torno de 25 %. O período de chuva possui taxas de umidade relativa do ar em torno de 80 % e taxas médias mensais de umidade máxima relativa do ar acima de 90 %.

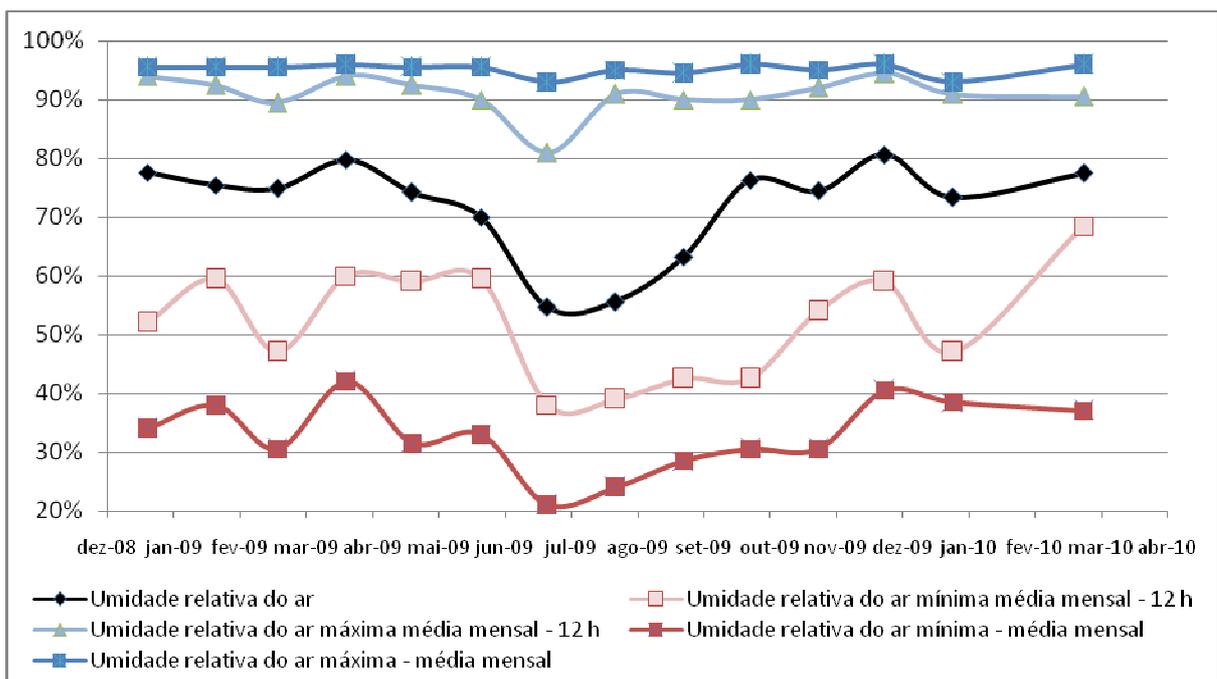


Figura 48 - Comportamento das taxas de umidade relativa do ar durante o período de janeiro de 2009 à março de 2010.

A série são compostas por cinco análises da umidade relativa do ar com intuito de comparar a sazonalidade com o processo de evaporação. A linha em preto representa as médias mensais das umidades relativas do ar registradas horariamente. A série de cor rosa representa as médias mensais de umidade relativa do ar mínima considerando somente o horário de meio dia e em azul claro a umidade relativa do ar máximo no mesmo horário. As curvas extremas representam as precipitações médias mensais mínimas e máximas (vermelho e azul forte, respectivamente). Fonte: [www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)

Pela figura 48, o comportamento da atmosfera em termos de umidade demonstra que



os meses entre junho e outubro são os mais secos com umidades relativas do ar mínimas por vezes próximas de 20 % e, em alguns anos é possível o registro de 10 % ou até menos. Nessa condição de seca forte o principal fornecedor de água são os aquíferos que suprem a demanda das águas superficiais principalmente para as áreas de irrigação que contribuem significativamente para o refluxo de água entre o aquífero e a superfície. Nesse período as temperaturas possuem grande amplitude, mas, em sua maior parte as temperaturas são altas e muito contribuem para a evaporação e enriquecimento da umidade do solo em isótopos mais pesados, aumentando a repetição de processos evaporativos e, afetando o sinal isotópico do aquífero que tende a valores de  $d$  mais negativo, projetando na correlação  $\delta D/\delta^{18}O$  uma inclinação mais suave. No restante do ano, a umidade relativa do ar média permanece acima de 70 % provocando alterações nos valores de razão isotópica em função das trocas de isótopos entre a umidade do solo e atmosfera com os isótopos em processo de evaporação. Nesse período a condição do solo é constantemente úmida com evaporação repetitiva e enriquecimento de  $^2H$  e  $^{18}O$ . Simultaneamente a este fracionamento ocorrem grandes quantidades de chuva com valores de razão isotópica de 3 a -9 ‰ e de 5 a -45 ‰ de  $\delta^{18}O$  e  $\delta D$  (figura 49), respectivamente. Durante os meses de outubro a junho observa-se a tendência do valor de  $d$  menos negativo e uma inclinação mais acentuada. Tomando por analogia a figura 10 A, seria como se no período de seca a resposta isotópica se comportasse mais como a curva de água evaporada e no período de chuva, de forma grosseira, ocorresse tendência para a curva de mistura estuarina.

Uma hipótese interessante e que deve ser mais investigada é de que para os valores de razão isotópica o período de seca tem grande influência sobre o sinal das águas subterrâneas na porção leste do Distrito Federal (área com intensa atividade agrícola). Com valores de  $d$  mais negativos é provável que a ocorrência de repetidos processos de evaporação e retorno da água remanescente ao aquífero possa ser o principal fator para projetar um valor de  $d$  tão negativo, nesse caso -17,89 ‰ conforme figura 49. Logicamente que no período chuvoso ocorrem valores negativos de  $d$ , mas, é possível que o período de chuva possua uma contribuição menos acentuada na atenuação do sinal das águas meteóricas refletidas nas águas subterrâneas dessa região. Na figura 49 a correlação  $\delta^{18}O / \delta D$  para os períodos de chuva e seca demonstram esta coerência para a porção leste do Distrito Federal.

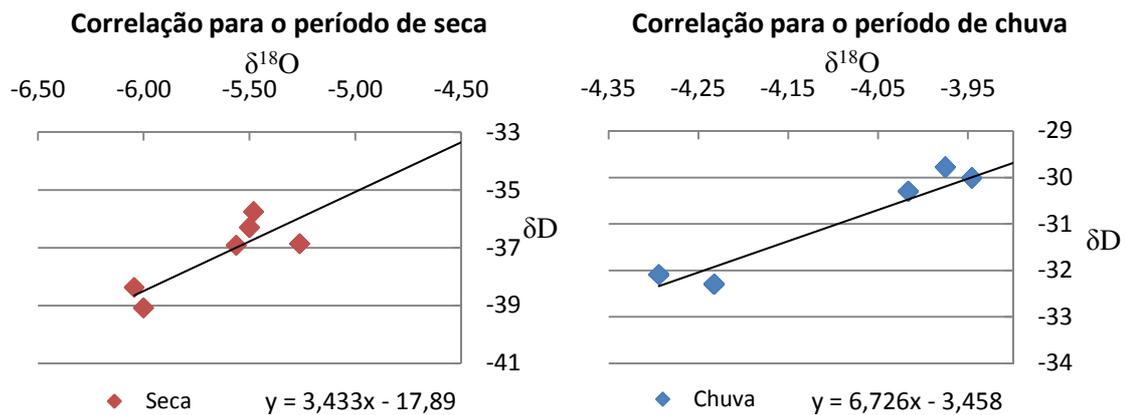


Figura 49 - Comparação entre as correlações de  $\delta D/\delta^{18}O$  da porção leste do Distrito Federal (poços: BUV, EPO-ITA, EPO-JAR, EPO-QN, EPO-TAB e EPO-TAQ2) enfatizando os períodos de seca e chuva.

Observa-se claramente que o período de seca possui uma contribuição forte para o valor de excesso de deutério mais negativos, o período de chuva também apresenta valores de excesso de deutério negativos, porém, em intensidade bem menor.

A porção leste do Distrito Federal possui baixa densidade demográfica, porém, alta intensidade agrícola. O comportamento diferenciado das amostras coletadas nas áreas agrícolas em relação às áreas não agrícolas quanto ao uso do solo é distinto na abrangência do Distrito Federal. Para as áreas agrícolas o e o intercepto da ordenada na correlação  $\delta D/\delta^{18}O$  é mais negativo e se distancia mais fortemente da linha de água meteórica local ou global com inclinação mais suave e, para as áreas não agrícolas a correlação  $\delta^{18}O$  por  $\delta D$  se aproxima mais da LMWL, porém com o intercepto da ordenada na correlação  $\delta D/\delta^{18}O$  ainda considerável, conforme figura 50.

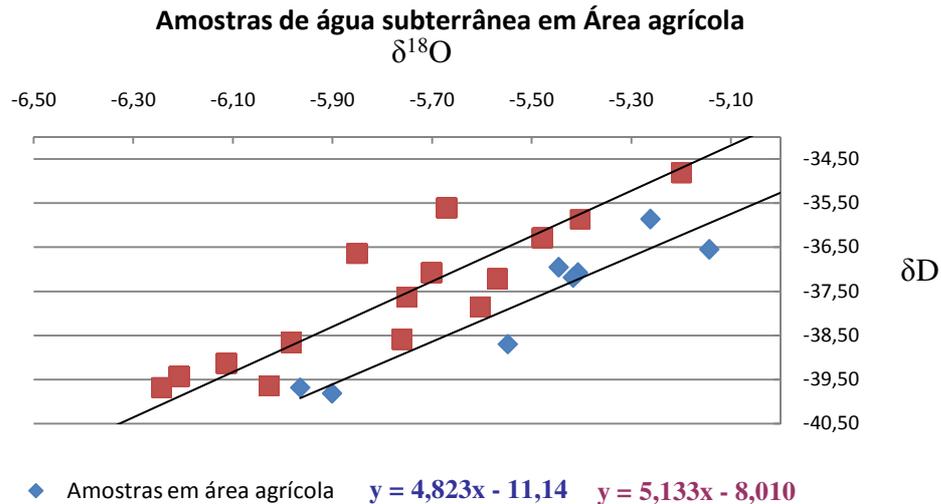


Figura 50 - Correlação  $^{18}\text{O}$  x D de poços sobrepostos às áreas agrícolas do DF e de outros usos

O mais interessante no gráfico é a diferença nos valores de excesso de deutério, uma vez que o comportamento nas áreas agrícolas é muito distinto permitindo a separação das duas áreas por um quantitativo de 4,56‰ no eixo representativo dos valores deutério.

Em princípio os resultados obtidos para as áreas agrícolas do Distrito Federal mostram uma relevância das práticas agrícolas nos sinais isotópicos obtidos. Isto, como dito anteriormente, em função da alta frequência dos processos evaporativos em função da irrigação durante o período de seca. Dado à rápida resposta em termos de sazonalidade é provável que o tempo de residência destas águas na região leste do DF seja curto e o reflexo dos processos superficiais nas águas subterrâneas sejam interanuais e efetivos. Esta condição, se confirmada, coloca o sistema de águas subterrâneas desta região como muito vulnerável, tendo em vista o tempo de sinal e resposta.

Considerando a distinção observada entre as áreas agrícolas e não agrícolas é possível que o Distrito Federal tenha pelo menos dois sistemas de “atenuação” dos sinais isotópicos da água meteórica, o primeiro relacionado à precipitação e processo de infiltração e o segundo, com uma falsa idéia de atenuação, relacionado ao refluxo de águas subterrâneas no período de seca em processos de irrigação. Quando analisamos todas as áreas de uso do Distrito Federal e seus respectivos poços e ainda observando a sazonalidade, alguns grupos de correlação  $\delta\text{D} / \delta^{18}\text{O}$  destacam-se distintamente. As classes de uso do solo do DF possuem uma inclinação na correlação  $\delta\text{D} / \delta^{18}\text{O}$  mais suave nos períodos de seca e mais acentuada nos períodos chuvosos exceto para os poços localizados nas áreas de cerrado (área verde) que possuem comportamento oposto. Quanto ao sistema cerrado, Ruhoff *et. al.* (2009), no monitoramento



dos fluxos de evapotranspiração de área de cerrado e lavouras de cana-de-açúcar encontrou valores baixos de evapotranspiração no período de seca, e altos no período de chuva. Uma hipótese para a região de cerrado é de que o fluxo aquífero – superfície – atmosfera é muito baixo possuindo uma dinâmica de pouca alteração e acompanhando, portanto, o comportamento mais próximo ao das áreas urbanas, que neste momento podem ser consideradas as vilas sem o abastecimento de água pelo sistema integrado da CAESB. No período de chuva ocorre a influência das altas taxas de evapotranspiração e fracionamento em função de troca de espécies isotópicas próximas à superfície.

Na figura 51 é possível observar o comportamento dos aquíferos em função do uso destinado à superfície com as correlações de  $\delta D / \delta^{18}O$  para cada tipo de uso do solo.



Na figura 55 observa-se a separação de cada um desses sistemas de atenuação em função da inclinação e intercepto da curva de correlação  $\delta D/\delta^{18}O$  no eixo das ordenadas.

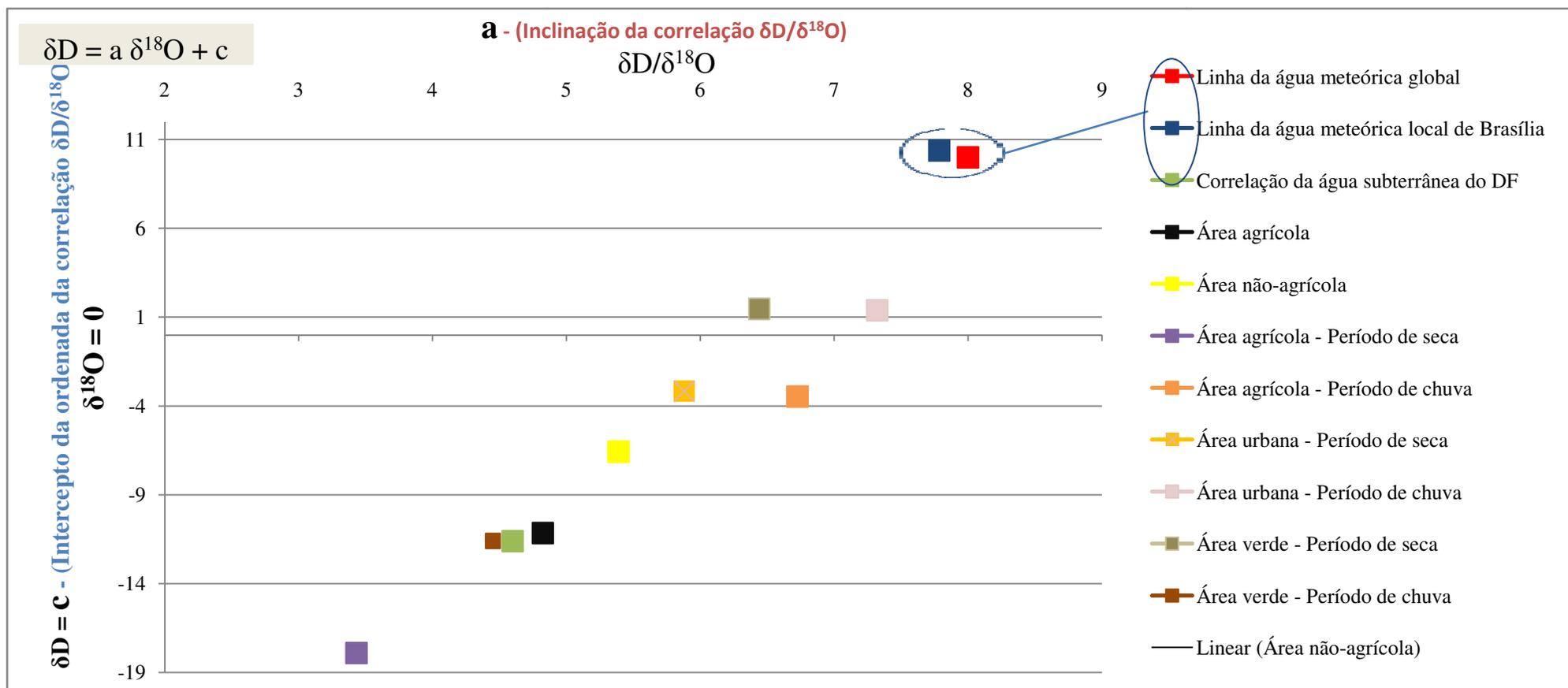


Figura 51 - Separação das diferentes respostas de correlação entre  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$ , em comparação ao efeito de sazonalidade e uso da terra. Os pontos circulos enfatizam a proximidade entre a Linha de Água Meteórica Local com a Linha de Água Meteórica Global.



Na migração das águas como vapor do oceano atlântico até a região do Distrito Federal os valores de razão isotópica sofrem influência dos efeitos de latitude, altitude, continentalidade, temperatura, equilíbrio isotópico, quantidade de precipitação entre outros que trazem como consequência o empobrecimento nas espécies isotópicas de  $^2\text{H}$  e  $^{18}\text{O}$ . As chuvas no Distrito Federal possuem um sinal isotópico de  $\delta^{18}\text{O}$  na faixa de 3 a -9 ‰ e de  $\delta\text{D}$  entre 5 e -45 ‰. Estes valores são atenuados no caso das águas subterrâneas para as faixas de -50 a -30 ‰ e de -4,37 a -7,12 ‰ nos valores de  $\delta\text{D}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  respectivamente. Se observarmos somente as faixas de variação, poderíamos afirmar que não existe qualquer influência nos processos superficiais, de percolação e equilíbrio até o alcance e estabilização com as águas subterrâneas, no entanto, quando pensamos no efeito de sazonalidade e modo de uso dos recursos hídricos do Distrito Federal, fica claro a contribuição de cada um destes e, principalmente, as distorções de como o deutério se comporta comparado ao  $^{18}\text{O}$  na molécula de água. Além disso, foram observados valores de  $\delta\text{D}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  distintos para algumas regiões do Distrito Federal conforme figuras 27 e 36.

A lógica da atenuação dos sinais da água meteórica pode ser interpretada em três compartimentos de fluxo: I - o período de chuva com influência das águas meteóricas e atenuação por precipitação, evapotranspiração, lixiviação, umidade relativa do ar, umidade do solo, efluentes de estações de tratamento de esgoto, perda nos canais de abastecimento de água e coleta de esgoto e taxa de impermeabilização; II - o período de seca com influência do processo de irrigação, refluxo de águas subterrâneas, efluentes de estações de tratamento de esgoto e perda nos canais de abastecimento de água e coleta de esgoto. III – Compensação nos reservatórios de água subterrânea. Na figura 52 é possível observar um diagrama de atenuação do sinal fundamental nas curvas de correlação isotópica dos poços monitorados. É importante considerar que as componentes de cada compartimento de fluxo ainda não complementam toda a atenuação de sinal existente no processo desde a precipitação até o alcance ao sistema aquífero domínio fraturado.

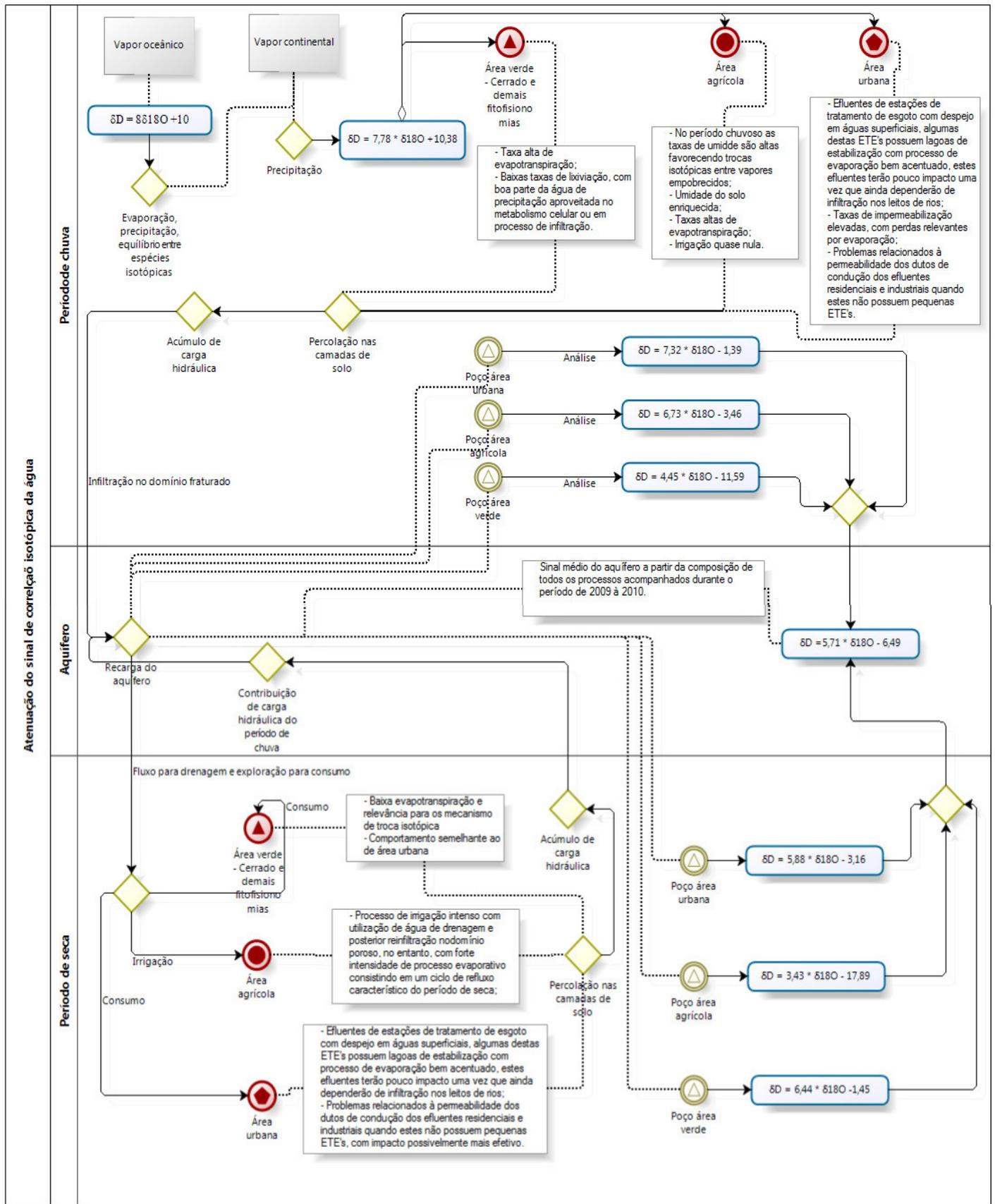


Figura 52 - Diagrama de atenuação do sinal isotópico nos períodos sazonais



### 5.1.3 SISTEMA DE PULSAÇÃO – CONTRIBUIÇÃO ENTRE AQUÍFEROS NO PERÍODO DE ESTIAGEM

A atenuação do sinal das águas meteóricas é observada nas relações entre deutério e oxigênio porque o primeiro é mais sensível aos efeitos cinéticos e sua faixa de valores aumenta em amplitude mais do que a espécie isotópica  $^{18}\text{O}$ . Essa diferença de comportamento promove a distinção nos valores de excesso de deutério conforme discutido anteriormente. Além disso, nas análises individuais, ou seja, quando verifica-se os resultados de cada isótopo, percebe-se que ambos possuem comportamentos semelhantes, mas, com faixas paralelamente distintas que dependem da região geográfica do Distrito Federal. O interessante a se observar é que estas faixas ora tornam-se mais ricas ou pobres nas espécies isotópicas da água, demonstrando uma relação de coerência com os períodos sazonais e algumas vezes com a estrutura geológica e, conseqüentemente, com os tipos de sistemas e subsistemas aquíferos.

O sistema aquífero do Distrito Federal é dividido em dois grandes grupos de aquíferos: o Domínio Aquífero Poroso e o Domínio Aquífero Fraturado. O primeiro é representado pelos solos, pelo manto de alteração das rochas (saprolito) e por materiais acumulados em calhas de drenagens (aluviões). Esse sistema possui de poucos centímetros até 80 m e, grande extensão e continuidade lateral. O segundo, Domínio Aquífero Fraturado, é caracterizado pelos meios rochosos com os interstícios representados por planos de fraturas, microfraturas, diáclases, juntas, zonas de cisalhamento e falhas; está limitado a profundidades pouco superiores a 250 m, podendo raramente ultrapassar esta profundidade, é fortemente heterogêneo e compõe o sistema de águas subterrâneas profundas conforme Campos (2004). Vale ressaltar, que as amostras deste estudo foram coletadas em poços tubulares profundos e representam alíquotas periódicas de água dos sistemas aquíferos do Domínio Fraturado.

Para o Distrito Federal, Lousada e Campos (2005) sugeriram quatro propostas de modelos hidrogeológicos conceituais aplicados às características regionais nas quais se encontram os sistemas aquíferos. A seguir apresenta-se uma breve descrição destes modelos denominados funcionalmente como:

*1 – Modelo das duas superfícies potenciométricas - é aplicável às áreas no interior das chapadas elevadas e constitui-se de duas superfícies potenciométricas, uma no domínio poroso sustentada por uma barreira hidráulica no topo do domínio fraturado e outra no*



*domínio fraturado localizada abaixo deste. Essas superfícies potenciométricas são possivelmente detectadas no período de seca, uma vez que, no período de chuva o topo do domínio fraturado também se encontra saturado ocorrendo, portanto, a junção das zonas saturadas dos domínios poroso e saturado (figura 4).*

*S.P.M.P – Superfície Potenciométrica do Meio Poroso; S.P.M.F – Superfície Potenciométrica do Meio Fraturado. Fonte: Lousada & Campos (2005)*

**2 – Modelo físsuro-cárstico** - *é proposto para várias regiões do Distrito Federal, tendo como requisito a presença de lentes carbonáticas interdigitadas com rochas de baixa permeabilidade, podendo ter uma ou duas superfícies potenciométricas dependendo da espessura das camadas de solo. Pela limitação de fluxo lateral por presença de poucas rochas fraturadas a recarga ocorre eminentemente por fluxo vertical (figura 5).*

**3 – Modelo de superfície potenciométrica única com confinamento** - *é observado em locais de relevo fortemente ondulado, com rochas pelíticas recobertas por solos pouco desenvolvidos. O sistema superior é classificado como Sistema  $P_4$  sem camada de saturação e funciona como camada confinante do tipo aquítarde. A recarga se dá pelo gotejamento a partir do Sistema  $P_4$  e pelo fluxo lateral de águas infiltradas nas áreas planas e elevadas que se distribuem nas adjacências (figura 6).*

**4 – Modelo de superfície potenciométrica única sem confinamento** - *é o modelo de circulação mais simples, ocorre na maior parte das áreas onde os aquíferos anisotrópicos de natureza fissural são recobertos por solos espessos em áreas de relevo suave ondulado com cotas intermediárias e em regiões próximas às quebras de relevo, sua recarga se dá principalmente pelo fluxo vertical de águas de precipitação (figura 7).*

Portanto, três destes modelos podem sofrer a influência de fluxos laterais, variando na efetividade deste fluxo de uma para outro. Notavelmente o único modelo que prevê ausência de recarga por fluxo lateral é o Modelo Físsuro-Cárstico devido a baixa presença de rochas fraturadas nas regiões em que são encontrados. Estes três modelos, portanto, deixam em aberto a possibilidade de contribuição por fluxo lateral entre aquíferos do domínio fraturado. Pelos resultados obtidos na série histórica de valores de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  durante o período de coleta das amostras, o comportamento observado na evolução temporal dos dados demonstra uma variação coerente com a distribuição no espaço, permitindo definir um gradiente isotópico do



aquífero fraturado que varia de acordo com a sazonalidade ou o ritmo de chuvas no Distrito Federal. Este comportamento se torna relevante quando considera-se que pode existir uma interconectabilidade entre os diversos aquíferos existentes, exceto nos casos de confinamento ou ausência de rochas fraturadas.

O regime de chuvas do DF é bem marcado pela concentração de chuvas durante os meses de outubro a maio, e entre junho e setembro com precipitação quase zero, por períodos algumas vezes de 120 dias ou até mais. Na figura 53 é possível observar as precipitações diárias durante o período de janeiro de 2009 à abril de 2010.

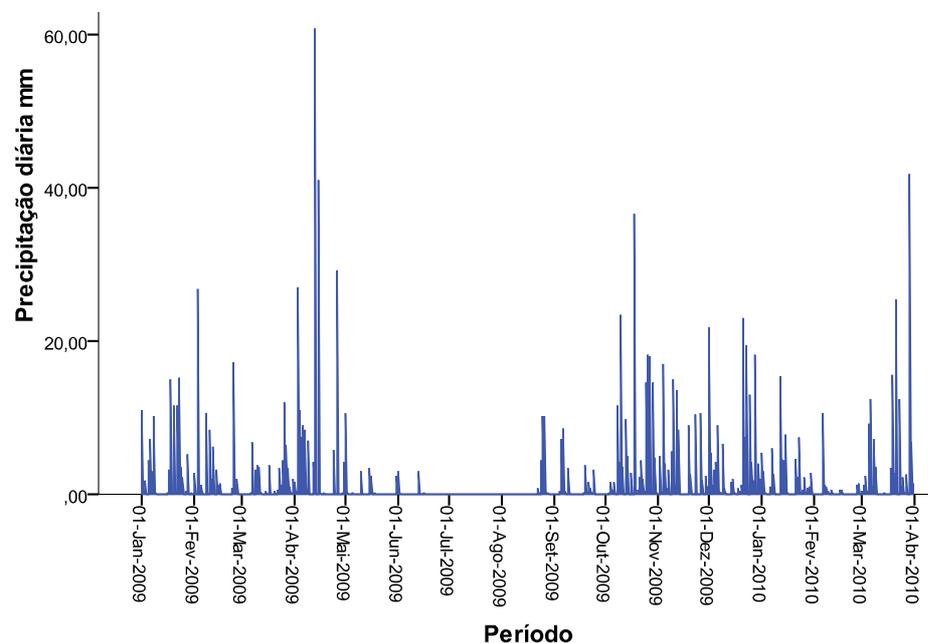


Figura 53 - Precipitação diária em mm de chuva no período de janeiro de 2009 a março de 2010.

Fonte: INMET (dados brutos)

Neste período percebe-se que o primeiro semestre de 2009 possui índices de precipitação mais acentuados se diferenciando do ano de 2010, que apresenta uma quantidade de precipitação menor de janeiro a abril. Pelas considerações abordadas acima é muito provável que no final do mês de novembro de cada ano a carga hidráulica referida no modelo 1 já tenha sido atingida e o domínio fraturado comece a receber as recargas por meio da interação domínio poroso – domínio fraturado. Com o avançar do período chuvoso e proximidade com o início período de estiagem, o aumento do volume de água no domínio fraturado torna possível que os aquíferos localizados na região de chapada (área de maior altitude) possam contribuir por fluxo lateral com os aquíferos de mais baixas altitudes. Ao



final do primeiro trimestre de cada ano e início do período de estiagem a carga hidráulica nos aquíferos das áreas de chapada pode promover a migração lateral de sua água para as regiões de borda de chapada e atingir os sistemas aquíferos da porção sul do Distrito Federal. Os valores de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  na região de chapada se encontram nos extremos mais negativos de razão isotópica a qualquer momento do ano e os valores de razão isotópica na porção sul tendem a valores mais negativos nos períodos de estiagem e mais positivos relativamente nos períodos de chuva. Para tal observação uma hipótese é sugerida:

No período de estiagem com a diminuição do volume hídrico dos aquíferos da porção sul e conseqüentemente redução da pressão exercida pelo volume de água, é possível que a carga hidráulica acumulada nas regiões de chapada seja distribuída para as regiões de menor pressão por meio de um sistema de compensação. Quando se inicia o período de chuva, estes retomam seus volumes e pressões, diminuindo a possibilidade de migração da água dos aquíferos situados na região de chapada. Esta hipótese funcionaria, portanto, como um sistema de pulsação dependente da pressão de cada compartimento, com uma frequência anual. A figura 54 foi produzida com o método de interpolação denominado Krigagem, considerando as médias trimestrais de cada variável de razão isotópica ( $\delta D$  e  $\delta^{18}O$ ). Pela figura é notável o comportamento atípico entre os anos de 2009 e 2010, principalmente no quarto trimestre de cada ano quando as variáveis tendem a valores bem mais negativos no ano de 2010. No entanto, o comportamento mais relevante demonstrado nas superfícies da figura 54 é a tendência de valores mais negativos da porção centro-leste no período de estiagem, tanto para  $\delta D$  quanto para  $\delta^{18}O$ . Os períodos de estiagem geram superfícies confusas, nas quais observa-se uma redução nas faixas de valores, ou seja, uma redução na amplitude dos sinais obtidos dos poços profundos; é como se o potencial negativo da região de chapada fosse compensado com os valores relativamente mais positivos nos demais aquíferos diminuindo a distância entre os extremos das faixas de valores que volta à amplitude normal no período de chuva. As superfícies do primeiro e do último trimestre demonstram o aumento de amplitude dos valores de razão isotópica da água. Em outras palavras, no período de estiagem o sistema tende ao equilíbrio, que sofre perturbações durante o período de chuva. Isto implica que as águas dos aquíferos do Distrito Federal são jovens, possuindo assim alta frequência de renovação. Esse tipo de comportamento exige, certamente, um maior nível de cuidado e preocupação.

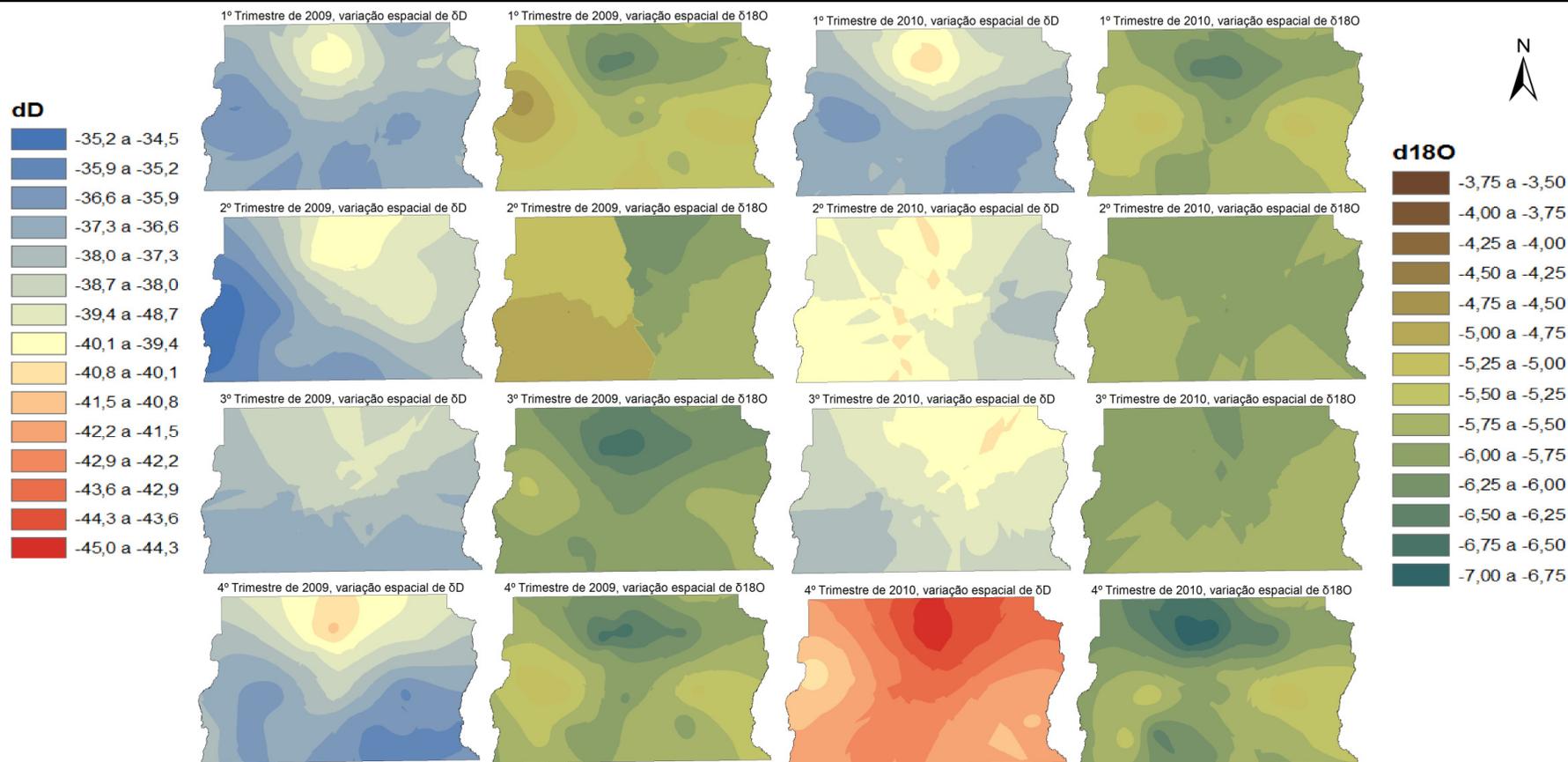


Figura 54 – Distribuição espacial de  $\delta D$  (esquerda) e  $\delta^{18}O$  (direita) durante os 8 trimestres nos anos de 2009 e 2010.

As médias trimestrais de  $\delta D$  são representadas pelas imagens com variações de cor do vermelho ao azul e as médias trimestrais de  $\delta^{18}O$  pelas imagens com variações de cor do verde ao marrom. Os pares de imagens à esquerda representam os trimestres do ano de 2009 e os pares de imagem à direita representam os trimestres do ano de 2010. Existe uma diferença abrupta entre os últimos trimestres de cada ano, que pode muito estar relacionada a ciclos com períodos superiores aos de sazonalidade. Estes podem estar sendo influenciados por variações climatológicas de abrangência geográfica maior que poderiam ser verificadas com o aumento do acompanhamento da variação isotópica de águas subterrâneas em períodos talvez de 5 ou 10 anos. Já nas variações sazonais percebe-se claramente que as imagens do período de estiagem de cada ano tende a uma redução na amplitude de valores de razão isotópica podendo perceber em alguns casos que as imagens são representadas não por variações de cores, mas, por variação na tonalidade de uma única cor (segundo e terceiro trimestres de 2010) os tons tendem a se situarem nas faixas médias de cada escala, isto pode sugerir que os sistemas aquíferos tendem ao equilíbrio neste período voltando às grandes variações ou perturbações nos períodos de chuva



Para a confirmação da hipótese acima levantada é necessário aumentar o esforço amostral em termos de período e adicionar novas variáveis como a razão de estrôncio 87/86, razão Ca/Sr, e elementos terras raras. A figura 54 foi produzida considerando as médias trimestrais de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  para facilitar a visualização. As imagens geradas com os valores mensais demonstram o mesmo comportamento.

#### 5.1.4 O COMPORTAMENTO DE $\delta^{13}C$

A razão isotópica  $^{13}C/^{12}C$ , é uma importante variável deste trabalho para avaliar o percurso das águas meteóricas desde o solo até a rocha reservatório, pois neste caminho é possível que a água proveniente da atmosfera agregue sinais em função de trocas isotópicas de carbono principalmente das regiões com solo rico em matéria orgânica e rochas carbonáticas. Além disso, é possível que a interação entre a superfície e a rocha reservatório agregue conteúdo adicional de carbono à água subterrânea. O sentido de analisar o conteúdo de carbono inorgânico dissolvido de águas subterrâneas é de alguma forma obter informações importantes que tragam a memória de percolação das águas atmosféricas em meio às camadas superficiais da litosfera. Os processos em superfície também podem influenciar bastante as respostas obtidas em amostras de águas subterrâneas, um exemplo disto é o trabalho de Böhlke & Horan (2000) realizado com objetivo de identificar drenagens afetadas por prática agrícola, no qual encontraram consideráveis contribuições nos valores de  $\delta^{13}C$  a partir da dissolução de dolomita em regiões de intensa produtividade agrícola, sabendo-se que este é um dos carbonatos componentes dos calcários utilizados para a correção dos solos na fase anterior ao plantio.

O carbono por fazer parte de vários processos bioquímicos tem grande importância na interpretação dos fenômenos transversais à hidrosfera, litosfera, biosfera e atmosfera e no trânsito entre estes. A relação  $^{13}C/^{12}C$  se altera dependendo do processo a que é submetido; estas mudanças permitem um registro de grande relevância para entender a origem, o tempo e as condições do meio. O fracionamento de  $\delta^{13}C$  é um importante fenômeno para entender os aspectos do ciclo hidrológico e, associado ao uso do solo e geologia pode apresentar as relações necessárias ao entendimento de como são influenciadas desde a superfície as águas subterrâneas. Neste estudo foi possível classificar dois conjuntos de valores de  $\delta^{13}C$ , que foram denominados como faixa (A) e faixa (B), conforme descrição dos resultados Capítulo



IV. A faixa (A) compreende as amostras com resultados variando de -2 a -13 ‰ e a faixa (B) variando de -13 a -22 ‰, também foi possível identificar um conjunto de amostras com uma pequena faixa de variação de -14 a -18 ‰.

Na figura 55 observa se os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para diversos reservatórios.

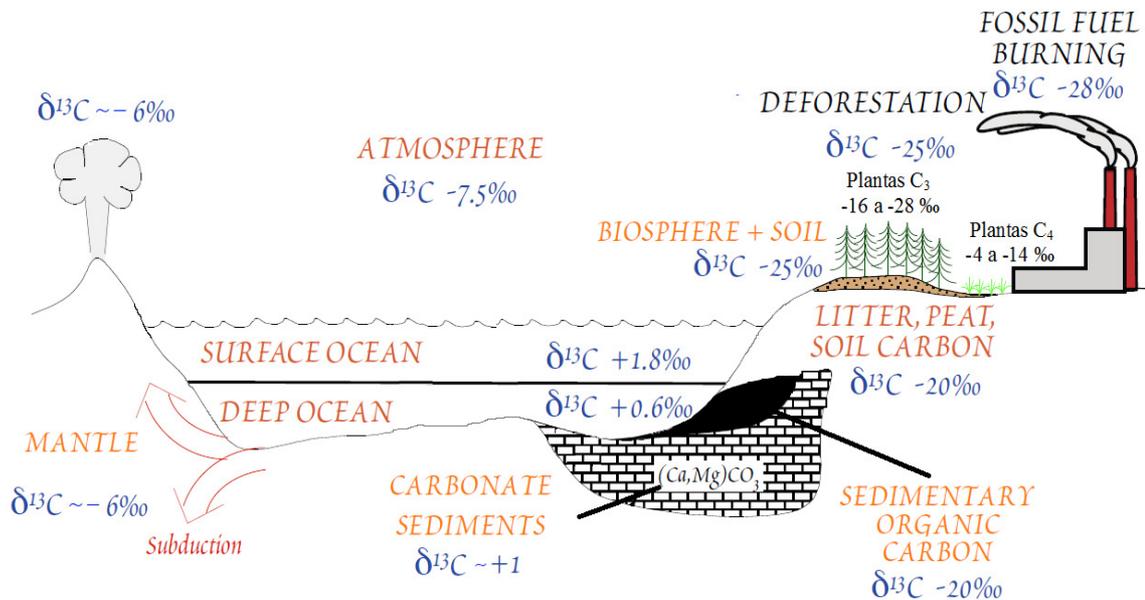


Figura 55 – Reservatórios de carbono com os valores de  $\delta^{13}\text{C}$ . Adaptado de *Isotope Geochemistry – Lecture 26. Spring 2009.*

Para o estudo presente, as principais fontes de carbono para as águas subterrâneas podem ser separadas nos compartimentos, biosfera terrestre, solo e litosfera que são representados pela serapilheira, biomassa em processo de degradação, carbono do solo, carbono orgânico sedimentar e carbonatos. Quanto ao solo, podemos identificar valores de  $\delta^{13}\text{C}$  em função do tipo de vegetação existente na superfície, isto porque o carbono orgânico componente do solo depende do tipo de metabolismo praticado pela planta no sequestro de carbono atmosférico, este metabolismo interfere por meio do estabelecimento do sistema de enraizamento no solo. As regiões com grande quantidade de plantas lenhosas vão influenciar os solos com o  $\delta^{13}\text{C}$  proveniente do metabolismo  $\text{C}_3$ , e as plantas do tipo gramíneas, influenciarão o solo com o  $\delta^{13}\text{C}$  proveniente do metabolismo  $\text{C}_4$  (podendo em alguns casos terem o metabolismo  $\text{C}_3$ ). Em estudo em área de cerrado no pantanal sul-mato-grossense com o objetivo de identificar as perdas de conteúdo de carbono no solo na transposição da vegetação nativa para a braquiária como pastagem, Fernandes *et. al.*(2007) em perfil de solo de 0 a 20 cm, encontrou solo sob vegetação nativa de cerrado com valores de  $\delta^{13}\text{C}$  na faixa de -24,35 a -23,70 ‰ e no solo sob pastagem implantada até 20 anos valores na faixa de -18,14 a



-15,33 ‰. Na literatura os valores para  $\delta^{13}\text{C}$  em solo sob o cultivo de braquiária (gramínea  $\text{C}_4$ ) são próximos de -12,5 ‰. Como existem ainda remanescentes de vegetação nativa é possível que ocorra um balanço nos conteúdos de isótopos de carbono de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  tendendo a valores mais próximos aos da braquiária.

No presente estudo foram encontrados valores de  $\delta^{13}\text{C}$  na faixa de -2 a -22 ‰, colocando o DF em um amplo espectro de contribuição do conteúdo isotópico de carbono das águas subterrâneas, é muito provável que dentro desta faixa, considerando valores de -8 à -22 ‰ os fatores mais importantes de contribuição sejam a biomassa, a serapilheira e o carbono orgânico sedimentar e a faixa mais rica de -2 a -8 ‰ talvez esteja associada aos carbonatos sedimentares existentes nas estruturas geológicas do Distrito Federal, ou até mesmo, que um compense ao outro de forma a produzir um valor médio e ponderado de  $\delta^{13}\text{C}$ .

Existe no Distrito Federal, uma carência enorme sobre os valores isotópicos das estruturas geológicas que compõem os grupos Araxá, Bambuí, Canastra e Paranoá, no que se atine aos valores de carbono - C e estrôncio - Sr, apesar da detalhada descrição da geologia pouco se sabe sobre suas assinaturas isotópicas. Este é um grande desafio quando se necessita estudar águas subterrâneas, pois, as mesmas refletem as interações da água com as estruturas geológicas durante a etapa de percolação e também refletem seu equilíbrio com as rochas de contato. Próximo à região do Distrito Federal, Santos *et al.* (2000) apresentaram perfis isotópicos de rochas dos grupos Bambuí e Paranoá, demonstrando que os isótopos de carbono poderiam ser utilizados como marcadores isotópicos estratigráficos confiáveis da bacia do Bambuí. Neste trabalho (Santos, *et al.* 2000) foram selecionadas três áreas focos para a amostragem de perfis, denominadas SD, SSD e SLA, a primeira localizada na cidade de São Domingos - GO, a segunda próxima à cidade de Unaí - MG e a terceira na cidade de Sete Lagoas - MG. Por questões comparativas foram tomadas como referência para as relações de  $\delta^{13}\text{C}$ , neste trabalho, as amostras dos grupos Paranoá e Bambuí da área SSD que dista do Distrito Federal aproximadamente 75 km a leste, conforme figura 56.

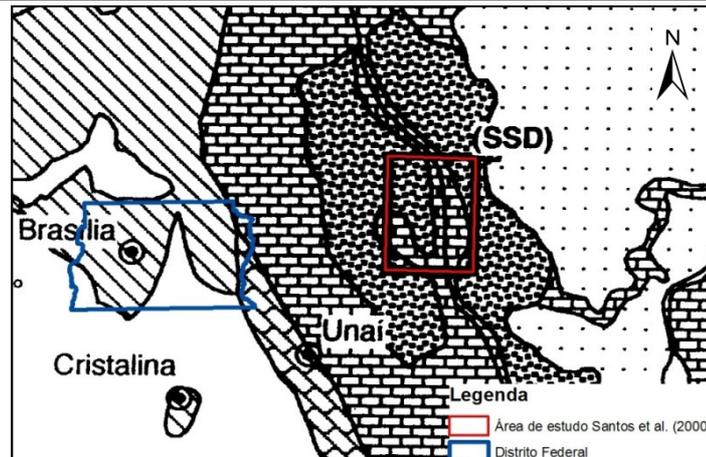


Figura 56 - Proximidade entre as áreas de estudo do presente trabalho e do trabalho de Santos et al. (2000).



Na área SSD Santos *et al.* (2000), coletaram em um perfil de 2000 m, 55 amostras representativas de calcário (rochas formadas basicamente por calcita – carbonato de cálcio), dolomita (rocha composta de dolomita – carbonato de cálcio e magnésio) e margas (tipo de rocha sedimentar contendo de 35 a 60 % de argila), todas as amostras são compostas de carbonatos e podem ser representativas dos grupos Paranoá e Bambuí. As amostras de dolomita tiveram uma variação de  $\delta^{13}\text{C}$  na faixa de 0 a 4 ‰ sendo seu valor médio de 1,76 ‰, já os calcários com variação de  $\delta^{13}\text{C}$  na faixa de -4 a 14 ‰ sendo seu valor médio de 4,30 ‰. Considerando somente os carbonatos do grupo Paranoá, Santos *et al.* (2000) relataram uma estreita faixa de  $\delta^{13}\text{C}$  próxima de 0 ‰ e para os carbonatos do grupo Bambuí uma ampla faixa marcada pela transição Paranoá-Bambuí de -4 a 12,5 ‰.

A estrutura geológica das rochas reservatório de cada aquífero possui estreita relação com seus sistemas aquíferos. No contexto do Distrito Federal, Campos (2004) classificou os aquíferos do Domínio Fraturado em quatro sistemas aquíferos fundamentados na estrutura geológica a que estes estão inseridos:

*Sistema Araxá – composto por xistos variados com ampla predominância de muscovita-xistos, granada xistos e lentes de quartzitos micáceos;*

*Sistema Bambuí – composto por metassiltitos laminados, metassiltitos argilosos e banco de arcóseos;*

*Sistema Canastra – Subsistemas: F (filitos) e Q/F/M (filitos com níveis carbonatados);*

*Sistema Paranoá – Subsistemas: S/A (metassiltitos e metarritimitos com intercalações carbonáticas / ardósias), A (ardósias), R<sub>3</sub>/Q<sub>3</sub> (metarritimitos com predominância de corpos arenosos / quartzitos finos a médios), R<sub>4</sub> (metarritimitos com predominância da fração pelítica) e PPC (metassiltitos e metaargilitos com lentes de metacalcários e canais quartzíticos).*

No quadro 8, observa-se os poços de amostragem em cada sistema e subsistema.

<b>Poços monitorados</b>	<b>Sistema aquífero</b>	<b>Subsistema aquífero</b>
BUV, EPO-ITA, EPO-JAR e EPO-TAB	Bambuí	-
AQ-3A	Araxá	-
EPO-CAT2	Canastra	F/Q/M
EPO-QN	Canastra	F
EPO-CHA2	Canastra	
EPO-VP e EPO-TAQ2	Paranoá	A
CAU4, EPO-BE1, EPO-NB2, SS-18*, BA-03*, IT-01*, MS-05* e SB-03*	Paranoá	R3/Q3
EPO-BON, EPO-QL2 e SO-18*	Paranoá	PPC
EPO-SBAT	Paranoá	F
EPO-CATO, I8-05* e NC-04*	Paranoá	R4
EPO-CG2	Paranoá	R4 e Q3

Quadro 7 - Relação de poços amostrados por sistemas aquíferos. Fonte:Caesb – Relatórios finais de poços

\* Sem informação de sistema e subsistema, associados em função de posicionamento geográfico.



Quanto às camadas superficiais, ou seja, os solos, foi possível por meio do mapa de solos classificar os poços de amostragem dentro de 5 tipos de solos conforme a classificação da EMBRAPA. O quadro 9 lista os poços localizados sob cada tipo de solo e na figura 57 é possível observar as posições geográficas de cada poço sobre as unidades geológicas.

Poço	Tipo de solo
AQ-3A, EPO-BE1, EPO-CG2, EPO-SBAT, EPO-VP e MS-05	CX - Cambissolo Háplico - Horizonte B incipiente
SS-18	GX - Gleissolo Háplico - Horizonte B glei
BUV, CAU4, EPO-BOM, EPO-ITA, EPO-JAR, EPO-NB2, EPO-TAB, EPO-TAQ2, I8-05, IT-01, NC-04 e SO-18	LV - Latossolo vermelho - Horizonte B latossólico
BA-03, EPO-CATO, EPO-CHA2, EPO-QN e SB-03	LVA - Latossolo vermelho-amarelo - difere do LV pela cor
EPO-CAT2 e EPO-QL2	NV - Nitossolo vermelho - Horizonte B nítico

Quadro 8 - Relação poço tipo de solo predominante nas proximidades do poço. Fonte: Gonçalves et al. (2009, apud EMBRAPA, 1978).

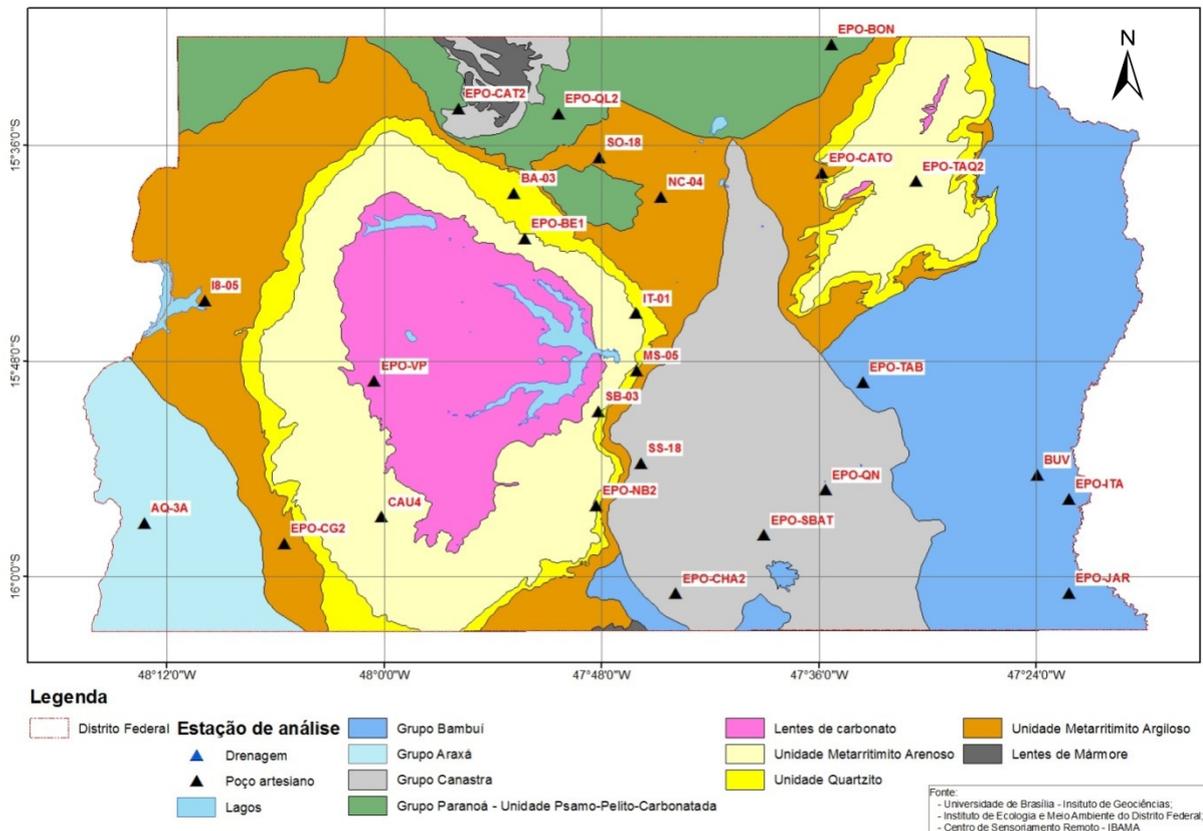


Figura 57 - Mapa geológico do Distrito Federal. Fonte: Instituto de Geociências – Universidade de Brasília, Instituto de Ecologia e Meio Ambiente do Distrito Federal e Centro de Sensoriamento Remoto do IBAMA.



Dada a ampla faixa de variação de  $\delta^{13}\text{C}$ , é provável que muitos fatores estejam contribuindo com os sinais isotópicos encontrados nas amostras de água subterrânea. Levando em conta os subsídios discutidos acima, podemos citar alguns destes elementos seguindo a ordem de cima para baixo considerando a disposição do topo para a base de cada estrutura ou processo:

1 – Sobre o solo a influência do homem com a adição de calcário para corrigir a acidez do mesmo e aumentar a eficiência de produção, pode iniciar os primeiros conteúdos de carbono isotópico das águas meteóricas ou de infiltração, principalmente nas áreas de intensa produtividade agrícola. Conforme Böhlke & Horan (2000) é possível que a dissolução de dolomita contribua como primeiro componente de carbono das águas meteóricas em etapa de percolação nas áreas de intensa produção agrícola. Da adição de calcário pouco pode se afirmar, pois, não se sabe sobre o conteúdo isotópico de carbono existente nos carbonatos aplicados na prática agrícola do Distrito Federal.

2 – O conteúdo de carbono do solo, podendo subdividi-lo em duas segmentações, a primeira considerando uma serapilheira proveniente de biomassa lenhosa com metabolismo  $\text{C}_3$  sugerindo uma faixa de valores de -14 a -24 ‰ e, a segunda com biomassa de gramíneas com metabolismo  $\text{C}_4$  e faixa de valores -4 a -14 ‰. Este fator influencia sobre qualquer região do Distrito Federal, tendo em vista que o conteúdo de carbono do solo é um reflexo imediato da vegetação predominante na superfície que produz através de suas estruturas radiculares conteúdo relevante de matéria orgânica.

3 – Carbono orgânico sedimentar com valores aproximados à -20 ‰ em  $\delta^{13}\text{C}$ .

4 – Carbonatos dos grupos Paranoá com valores em torno de 0 ‰ e Bambuí com a faixa aproximada de -4 a 12,5 ‰ em  $\delta^{13}\text{C}$ .

Elencados os 4 fatores sugestivos de interferência nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  para a região do Distrito Federal, é possível estabelecer alguns fluxos de possibilidades em termos de compensação nas trocas isotópicas que podem ocorrer durante o percurso de percolação entre a superfície e o sistema aquífero. Para tal, os fatores mais factíveis são os inerentes ao conteúdo de carbono presente nos solos, como o DF está situado em área do bioma cerrado é muito possível uma mistura relevante de contribuição de plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$  para a composição



dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$ , obtendo como faixa mais favorável a média de valores de razão isotópica para plantas  $\text{C}_3$  e  $\text{C}_4$ . Quanto as estruturas geológicas tendo em vista que as referências distam da área de estudo cerca de 75 km a leste, é possível traçar perspectivas de influência dos carbonatos sedimentares para as amostras que estão ao menos situadas nas formações geológicas estudadas por Santos *et al.* (2000) que podem possuir variações, no entanto, estão dentro da faixa prevista pela literatura. Outro fator de grande importância são os folhelhos negros que também podem ter grande contribuição nas trocas isotópicas de carbono e influenciar no conteúdo já originário dos processos de superfície e interferência do conteúdo de carbono do solo.

A sistematização desses fatores de interferência projeta um grande desafio, pois, os mesmos podem atuar de forma conjunta, produzindo um sistema de compensação complexo no qual cada um é responsável de forma parcial pelo conteúdo de razão isotópica de carbono detectado nas águas subterrâneas, ou até mesmo, estes fatores podem estar atuando de forma alternada ou em algumas situações estar ausentes no processo de percolação.

Tendo em vista o emaranhado de possibilidades, as figuras 58 e 59, estabelecem possíveis rotas de percolação para facilitar a compreensão de uma lógica de interferências e consolidação dos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  nas águas subterrâneas do Distrito Federal. No quadro 9 considerando as rotas estabelecidas nas figuras 58 e 59 é demonstrado por meio das estruturas geológicas e uso destinado aos solos as possíveis rotas para a obtenção dos resultados de  $\delta^{13}\text{C}$ .

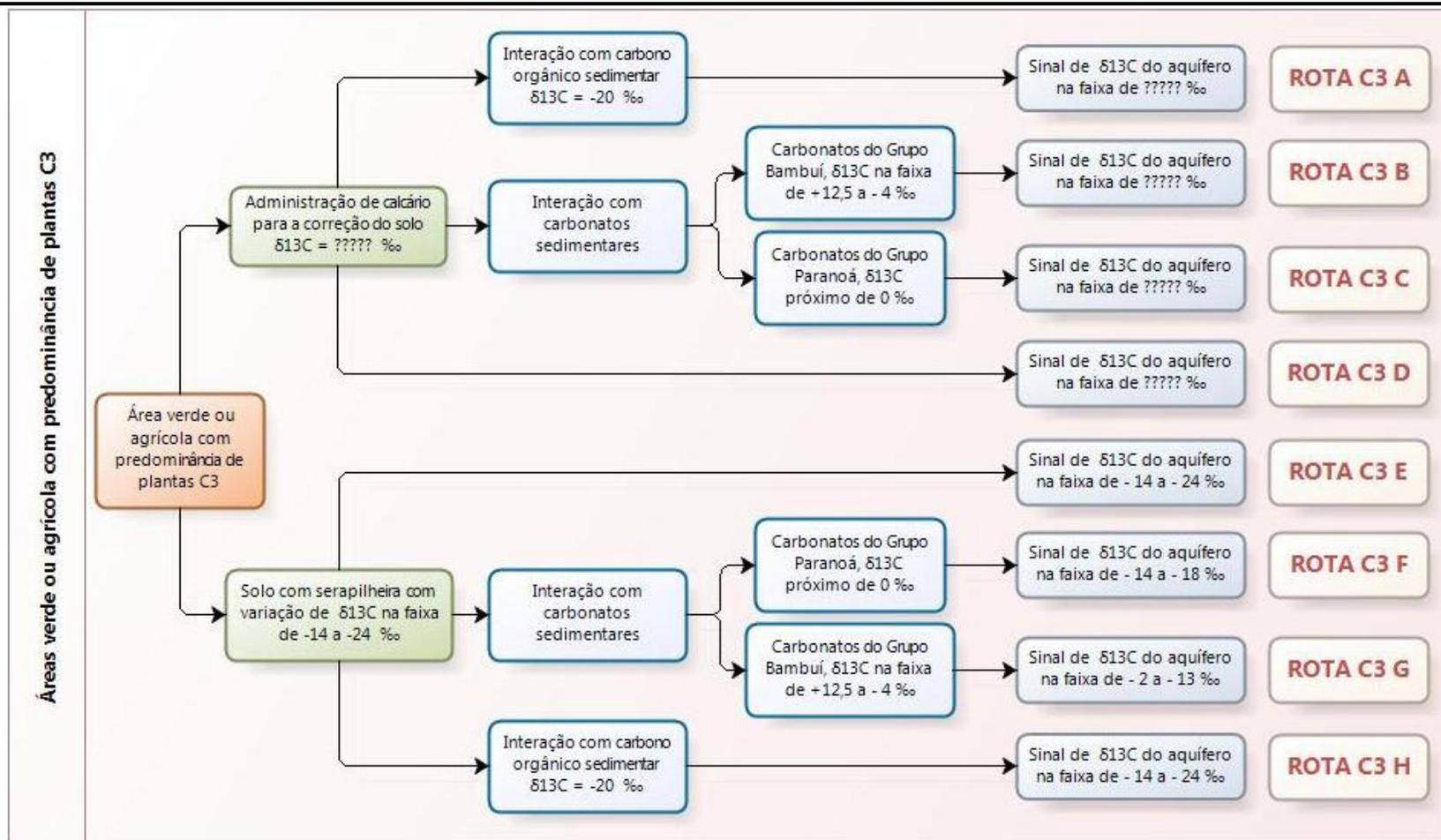


Figura 58 - Diagrama sugestivo de assimilação do sinal de  $\delta^{13}C$  em solo com predominância de plantas  $C_3$

Considerando rotas diferenciadas. Para as rotas com previsão de interação com calcário administrado na correção de solos, sabemos que este pode influenciar como verificado por Böhlke & Horan (2000) e não deve ser negligenciado ou desprezado sem mensurar previamente seu potencial de influência. Os valores de carbonatos seguem a referência utilizada neste trabalho Santos et al. (2000) e os valores para plantas  $C_3$  e  $C_4$  conforme dados de literatura. A suposição é de que cada estrutura de interação possa fazer uma contribuição para os conteúdos isotópicos de carbono nas águas subterrâneas, compensando as razões iniciais de carbono de formas distintas até a obtenção dos valores de  $\delta^{13}C$  conforme resultados deste trabalho.

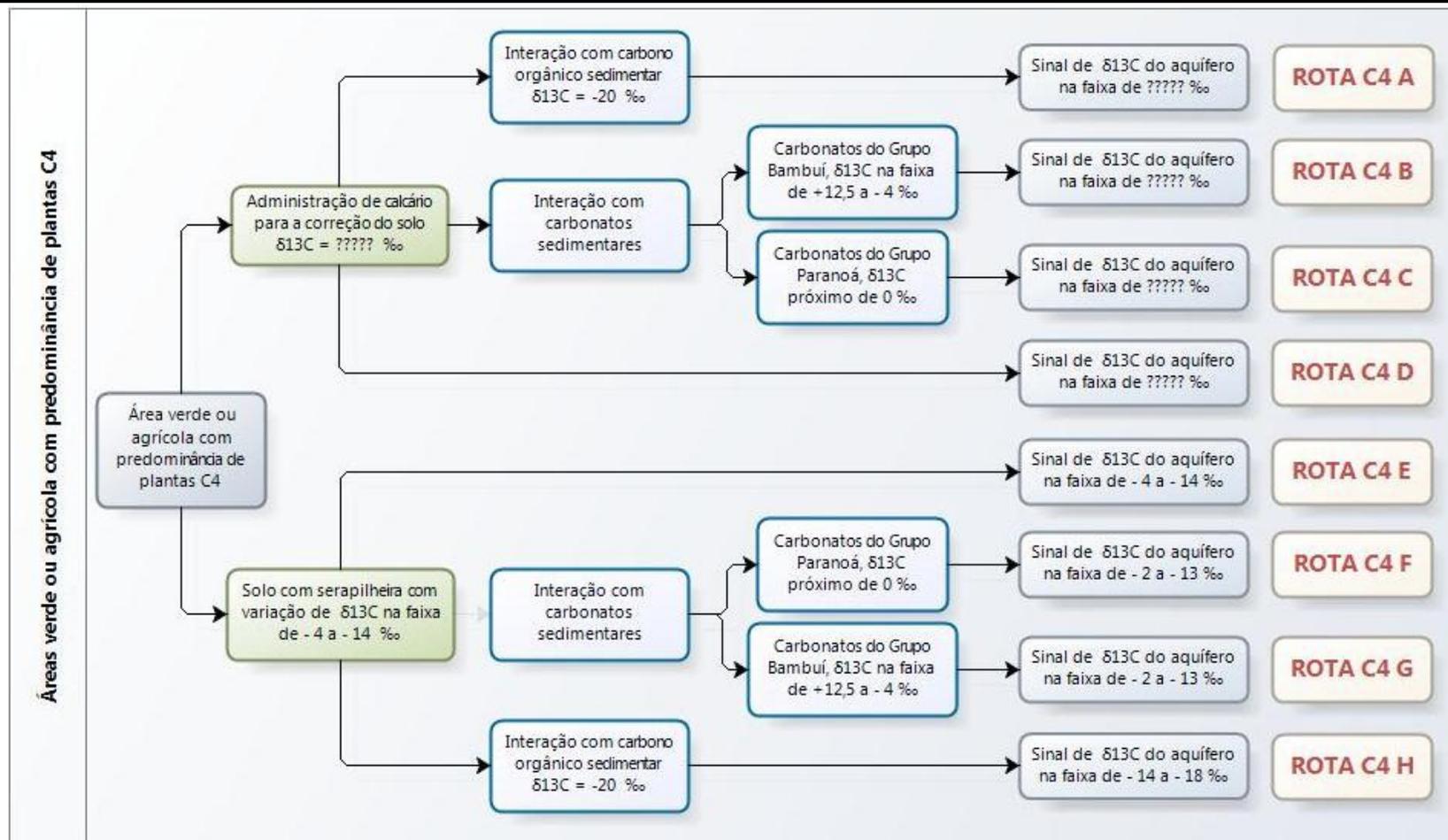


Figura 59 - Diagrama sugestivo de assimilação do sinal de  $\delta^{13}C$  em solo com predominância de plantas C<sub>4</sub>

Considerando rotas diferenciadas. Para as rotas com previsão de interação com calcário administrado na correção de solos, sabemos que este pode influenciar como verificado por Böhlke & Horan (2000) e não deve ser negligenciado ou desprezado sem mensurar previamente seu potencial de influência. Os valores de carbonatos seguem a referência utilizada neste trabalho Santos et al. (2000) e os valores para plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> conforme dados de literatura. A suposição é de que cada estrutura de interação possa fazer uma contribuição para os conteúdos isotópicos de carbono nas águas subterrâneas, compensando as razões iniciais de carbono de formas distintas até a obtenção dos valores de  $\delta^{13}C$  conforme resultados deste trabalho.



Sist. e SubSis.Aquíf.		Geologia		Poços	Uso do solo	Rota de percolação	$\delta^{13}C$ (‰)	
Canastra	F	Filitos	Rocha intermediária entre ardósia e xisto	EPO-QN	Área verde	C3-E	-18,14	
	F/Q/M	Filitos carbonatados		EPO-CAT2	Área verde	C3-G ou C4-E	-9,48	
				EPO-CHA2	Área verde	C3-E, C3-H, e C4-H	-14,80	
Paranoá	A	Ardósia	Quartzo, sericita/fengita, clorita, pirofilita	EPO-VP	Urbano	C4-E	-12,27	
				EPO-TAQ2	Área verde	C3-E, C3-H e C4-H	-18,03	
	R3	Metarritmitos com predominância de corpos arenosos		EPO-SBAT	Área verde	C3-E, C3-F, C3-H e C4-H	-16,27	
	R3/Q3	Metarritmitos com predominância de corpos arenosos e quartzitos finos a médios			CAU4	Agrícola	C3-E e C3-H	-19,36
					EPO-BE1	Área verde	C3-E, C3-F, C3-H e C4-H	-17,02
					EPO-NB2	Agrícola	C3-E, C3-H e C4-H	-18,38
					SS-18*	Urbano	C4-E e C4-F	-9,27
					BA-03*x	Área verde	C3-E, C3-F, C3-H e C4-H	-17,15
					IT-01*	Área verde	C3-E, C3-F, C3-H e C4-H	-17,63
					MS-05*	Área verde	C3-E, C3-F, C3-H e C4-H	-16,91
		SB-03*	Urbano	C3-E, C3-F, C3-H e C4-H	-15,70			
	R3 e R4	Metarritmitos com predominância de corpos arenosos e Metarritmitos com predominância da fração pelítica		EPO-CG2	Área verde	C3-E, C3-F, C3-H e C4-H	-17,30	
	R4	Metarritmitos com predominância da fração pelítica			EPO-CATO	Área verde	C3-E, C3-H e C4-H	-16,78
					I8-05*	Agrícola	C4-E	-9,67
					NC-04	Urbano	C3-E, C3-H e C4-H	-15,60
PPC	Metassiltitos e metaargilitos com lentes de metacalcários e canais quartzíticos		Pesamo Pelito Carbonatadas	EPO-BON	Área verde	C4-F	-10,80	
				EPO-QL2	Área verde	C4-F	-12,23	
				SO-18*	Área verde	C3-E, C3-F, C3-H e C4-H	-16,34	
Bambuí	Metassiltitos laminados, metassiltitos argilosos e banco de arcóseos			BUV	Agrícola	C3-G, C4-E e C4-G	-8,02	
				EPO-ITA		C3-G e C4-G	-13,65	
				EPO-JAR		C3-E, C3-H e C4-H	-14,96	
				EPO-TAB		C3-G, C4-E e C4-G	-8,55	
Araxá	Xistos variados com ampla predominância de muscovita xistos, granada xistos e lentes de quartzitos micáceos			AQ-3A	Área verde	C3-E, C4-E, e C4-H	-13,72	

Quadro 9 – Relação entre os sistemas aquíferos, geologia, poços, uso do solo, rota de percolação sugerida e sinal de  $\delta^{13}C$  nas amostras de água subterrânea de cada poço.



## 6 CAPÍTULO VI

### 6.1 CONCLUSÃO

As águas subterrâneas do Distrito Federal possuem uma faixa de variação de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  próximas às variações encontradas para a linha da água meteórica local monitorada pela IAEA/WMO durante o período de 1967 a 1987, no entanto, exibem um comportamento distinto entre Deutério e Oxigênio que está muito associado ao espaço e seus usos praticados pela população do Distrito Federal. Com o presente estudo foi possível definir padrões de excesso de Deutério associados aos usos destinados sobre a superfície do Distrito Federal e, além disso, inferir sobre o tempo de resposta superfície - aquífero que está muito associado aos períodos sazonais quando se considera as variáveis de excesso de deutério, oxigênio e deutério de forma distinta ou com o par  $\delta^{18}O/\delta D$ . É muito provável que com as análises de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  tenha se conseguido subsídios suficientes para sugerir com bom grau de confiabilidade o tempo de resposta dos aquíferos do DF, que pelas análises apresentadas é provavelmente inferior ao período de seis meses, apontando para um sistema de águas juvenis. Esta conclusão está também embasada na observação de Cadamuro (2002) *Apud* Lousada e Campos (2005), que baseado no comportamento das nascentes de fraturas localizadas nas áreas de afloramentos rochosos, nota-se o aumento de vazão após 45 dias ou dois meses do início das chuvas, ou seja, a pressão hidrostática dos aquíferos sofre alterações logo após o início do período de chuvas. Como subsídio deste trabalho, a figura 54 aponta claramente para duas considerações de caráter relevante em termos de possibilidade de equilíbrio dos sistemas aquíferos e contribuição em volume de água entre estes. A primeira pode ser verificada com as perturbações dos sistemas aquíferos quanto à distribuição espacial de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$ ; é notável a associação da perturbação do sistema durante o último e primeiro trimestre de cada ano, nos quais as faixas de valores dos referidos desvios de razão isotópica apresentam um espectro de valor mais amplo e no segundo e terceiro trimestre de cada ano este espectro passar a ser mais estreito, ou seja, os valores de  $\delta D$  e  $\delta^{18}O$  apresentam faixas de variações menores, como se um processo de homogeneização ocorresse nos períodos entre o início e fim da estiagem. O segundo ponto a ser considerado, é que os sistemas aquíferos do Distrito Federal não possuem limitação quanto à recarga por fluxo lateral conforme modelos hidrogeológicos conceituais



propostos por Lousada & Campos (2005) com exceção do modelo Físsuro-Cárstico e pela geração das superfícies contínuas de distribuição dos valores de razão isotópica de Deutério e Oxigênio, pode também ser sugerido que haja uma contribuição entre os aquíferos posicionados em maior altitude para com os aquíferos mais baixos, sendo o sistema re-estabelecido no período de chuva. Esta observação aponta para um sistema de pulsação de periodicidade sazonal.

Estas considerações são de fundamental importância uma vez que trazem indícios fortes sobre o tempo de resposta dos processos de superfície nos aquíferos, que projeta um processo de influência direta por períodos anuais. Reforçando, portanto, o potencial de vulnerabilidade, Ferreira (2010) em suas conclusões em estudo de avaliação da água subterrânea para consumo humano na Bacia do Rio São Bartolomeu, sugere influência de águas residuais urbanas sobre a qualidade das águas dos poços profundos (aquífero fraturado) e ainda constatou a alteração físico-química dos subsistemas ( $Q_3/R_3$ ,  $R_4$  e  $F$ ) e também influência de compostos associados à prática agrícola. O provável sistema de contribuição entre aquíferos, ou sistema de pulsação permite-nos pensar que os aquíferos do DF principalmente no período de seca possuem grande potencialidade de mistura de suas águas e, portanto, homogeneização tanto de compostos característicos às águas subterrâneas quanto a quaisquer possibilidades de contaminante. Este fato não nos permite negligenciar sobre qualquer região do DF, mas trabalhar com políticas voltadas ao gerenciamento dos recursos hídricos de forma integral.

Quanto aos resultados e análises do desvio de razão isotópica de carbono foi possível estabelecer os possíveis processos que podem influenciar no conteúdo isotópico das águas subterrâneas do DF e sugerir que há a necessidade de se aumentar o banco de dados de variáveis isotópicas das estruturas geológicas e superficiais. Não foi possível compreender à memória de percolação que se esperava com a variável de  $\delta^{13}C$ , no entanto, inferir sobre possíveis indícios que podem orientar trabalhos posteriores e enriquecer o nível de conhecimento sobre os aquíferos do Distrito Federal, considerando as estruturas geológicas, os processos superficiais e as interferências do solo.

Dados os indícios de curto tempo de renovação das águas dos aquíferos do Distrito Federal e resultados apontados por trabalhos recentes recomenda-se que novas políticas



públicas sejam implantadas orientadas aos estudos que estão sendo publicados e as já existentes sejam intensificadas, tendo em vista, que muito há a se fazer, no entanto já existe um horizonte que aponta a importância de não negligenciar quanto aos recursos hídricos subterrâneos do Distrito Federal.



## 7 CAPÍTULO VII

### 7.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADASA. 2006. Plano de Gerenciamento Integrado de recursos Hídricos do Distrito Federal - PGIRH. Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal. Disponível em [www.pgirh.df.gov.br](http://www.pgirh.df.gov.br). Acesso em 21 de julho de 2010.
- Araújo R., Goedert W. J., Lacerda M. P. C. (2007). Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 31(5), 1099-1108
- Böhlke, J. K., & Horan, M. (2000). Strontium isotope geochemistry of groundwaters and streams affected by agriculture, locust grove, MD. *Applied Geochemistry*, 15(5), 599-609
- Cadamuro A. L. M. & Campos J.E.G. (2005). Recarga Artificial de Aquíferos Fraturados no Distrito Federal: Uma Ferramenta para a Gestão dos Recursos Hídricos *Revista Bras. De Geoc.*, 35(1):89-98.
- Campana, N. A.; Monteiro, M. P.; Koide, S.; Brandão, C. C.; Cordeiro Netto, O. M.; Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal. 1998.
- Campbell, N. A.; Williamson B.; Heyden R. J. (2006). *Biology: Exploring life*. Boston, Massachusetts: Pearson Prentice Hall.
- Campos J.E.G.; Gaspar M. P.; Cadamuro A. L. (2007). Condições de Infiltração em Solos na Região de Recarga do Sistema Aquífero Urucui no Oeste da Bahia sob Diferentes Condições de Uso. *Revista Bras. Geoc.*, 37(3):542-550.
- Campos, J.E.G. (2004). Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, n. 1, p. 41 – 48.
- Cao, M. & Woodward, F. I. (1998). Net primary and ecosystem production and carbon stocks of terrestrial ecosystems and their responses to climate change. *Global Change Biology*, 4 (2), pp. 185-198.
- Capedri, S., Venturelli, G., & Photiades, A. (2004). Accessory minerals and  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  of



marbles from the mediterranean area. *Journal of Cultural Heritage*, 5(1), 27-47

- Castro, G.L., Parente, C.V., Veríssimo, C.U.V., Sial, A.N., Garcia, M.G.M., Santos, R.V., Melo, R.C., Santos, A.A., (2005). Isótopos de carbono e oxigênio dos mármorees associados com o depósito de fósforo uranífero de Itatiaia, Ceará. *Revista Brasileira de Geociências*. 35(2):199-208.
- Christofidis, D. (2000); Os Recursos Hídricos: Abastecimento Humano, Industrial e Irrigação no Distrito Federal. I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste.
- Craig H. (1961). Standard for Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Wates. *Science*, **133**:1833-1834.
- Dansgaard W. (1964). Stable Istopes in Preciptatin. *Tellus*, **XVI(4)**:436-468.
- Dardenne M.A. (1978a). Geologia da Região de Morro Agudo (Minas Gerais). Bol. Inform. SBG/Centro Oeste, 7-8: 68 – 84.
- Dardenne M. A. (1978b). Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congr. Bras. Geoc., 30. Recife, 1978. Anais, SBG. v. 2. p. 597-610.
- Dardenne M. A. (1979). Les minéralisations plomb, zinc, fluor Du Proterozoique Superieur dans le Bresil Central. Paris. Univ. Pierre et Marrie Curie - Paris VI. 251p. These de Doctorat d’Etat.
- Dardenne M. A. (1981). Os grupos Paranoá e Bambuí na Faixa Dobrada Brasília. In: Simp. Sobre o Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais.
- De Almeida, T. I. R., Karmann, I., Filho, A. C. P., Sígolo, J. B., & Bertolo, R. A. (2010). Different degrees of isolation of groundwater as cause of its variability: Evidences from isotopic and hydrochemical data and water level seasonal variation in pantanal of nhecolândia. [Os diferentes graus de isolamento da água subterrânea como origem de sua variabilidade: Evidências isotópicas, hidroquímicas e da variação sazonal do nível da água no pantanal da Nhecolândia] *Geologia USP - Serie Cientifica*, 10(3), 37-47.
- De Putron, S. J., McCorkle, D. C., Cohen, A. L., & Dillon, A. B. (2011). The impact of seawater saturation state and bicarbonate ion concentration on calcification by new recruits



- of two atlantic corals. *Coral Reefs*, 30(2), 321-328.
- Ehleringer, J. R. (2002). Stable isotopes and carbon cycle processes in forest and grasslands. *Plant Biology*, v. 4, p. 181-189.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1978. 455 p.(EMBRAPA-SNLCS. Boletim Técnico, 53)
- International Hydrological Programme - IHP. Environmental Isotopes in the hydrological cycle – Principles and Applications. Paris, 2001. No. 39, Vol. II., 122p.
- Farquhar, G. D., Lloyd, J., Taylor, J. A., Flanagan, L. B., Syvertsen, J. P., Hubick, K. T., et al. (1993). Vegetation effects on the isotope composition of oxygen in atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 363(6428), 439-443
- Farquhar, G. D.; Ehleringer, J. R.; Hubick, K. T.; (1989). Carbon Isotope Discrimination and Photosynthesis. *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant Mol. Biol.* 40:503-537
- Fernandes, F. A.; Cerri, C. C.; Fernandes, A. H. B. M.; (2007). <sup>13</sup>C e a Dinâmica do Carbono Orgânico do Solo em Pastagem Cultivada no Pantanal Sul-mato-grossense. Embrapa – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 74. 19p.
- Ferreira M.M. (2010). *Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea para Consumo Humano da Bacia do Rio São Bartolomeu: O caso dos Poços Tubulares Profundos do Setor Habitacional Jardim Botânico, Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, 182p.
- Freitas-Silva F.H & Campos J.E.G. (1998). Hidrogeologia do Distrito Federal. In: Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal. Brasília. IEMA / SEMATEC / UnB. Parte IV. 85p.
- Freitas-Silva F.H. & Dardenne M.A. (1994). Proposta de subdivisão estratigráfica formal para o grupo Canastra no oeste de Minas Gerais e leste de Goiás. In: Simp. Geol. Centro Oeste, 4. Brasília, 1991. Anais...Brasília, SBG-DF/CO, p.164-165.
- Gärtner, C., Bröcker, M., Strauss, H., & Farber, K. (2011). Strontium-, carbon- and oxygen-



- isotope compositions of marbles from the cycladic blueschist belt, greece. *Geological Magazine*, 148(4), 511-528
- Gonçalves T. D., Roig H. L., Campos J.E.G. (2009). Sistema de Informação Geográfica como Ferramenta de apoio à Outorga dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Distrito Federal *Revista Bras. de Geoc.*, 39(1):169-180.
- Hoefs, J. (1980). Stable isotope geochemistry ( textbook). *Stable Isotope Geochemistry ( Textbook)*.
- Lima, L. A. (2008); Notas de Aula – Pivô Central. Disponível em: <http://www.slideshare.net/alexstosta/pivo-central-irrigacao>, acessado em 02 de novembro de 2011.
- Horst A., Mahlkanecht J., Merkel B.J. (2007). Estimating Groundwater Mixing and Origin in na Overexploited Aquifer in Guanajuato, Mexico, Using Stable Isotopes (strontium-87, carbon-13, deuterium and oxygen-18) *Isotope in Environmental and Health Studies*, 43(4):232-338.
- IAEA/WMO (2006). Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Disponível em: <http://www.iaea.org/water>
- IAEA (2001). Environmental Isotopes in the Hydrological Cycle: Principles and Applications. Disponível em: [http://www-naweb.iaea.org/naweb/ih/ihs\\_resources\\_publication\\_hydroCycle\\_en.html](http://www-naweb.iaea.org/naweb/ih/ihs_resources_publication_hydroCycle_en.html)
- Jacobson, A. D., & Wasserburg, G. J. (2005). Anhydrite and the sr isotope evolution of groundwater in a carbonate aquifer. *Chemical Geology*, 214(3-4), 331-350.
- Keeling, C. D., Piper, S. C., Whorf, T. P., & Keeling, R. F. (2011). Evolution of natural and anthropogenic fluxes of atmospheric CO<sub>2</sub> from 1957 to 2003. *Tellus, Series B: Chemical and Physical Meteorology*, 63(1), 1-22
- Lecuyer C., Gillet P., Robert F.(1998). The hydrogen isotope composition of seawater and the global water cycle, *Chemical Geology*, Volume 145, Issues 3-4, p. 249-261
- Lousada E. O. & Campos J.E.G. (2005). Proposta de Modelos Hidrogeológicos Conceituais Aplicados aos Aquíferos da Região do Distrito Federal *Revista Bras. De Geoc.*, 35(3):407-



414.

- Lousada E. O. & Campos J.E.G. (2006). Correlação entre Precipitação e Piezometria em Aquíferos Freáticos: Implicações para o Planejamento dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Jardim - DF *Revista Bras. De Recursos Hídricos*, 11(4):37-46.
- Martinelli, L. A.; Ometto, J. P. H. B.; Ferraz, E. S.; Victoria, R. L.; Camargo, P. B.; Moreira, M. Z. (2009). *Desvendando Questões Ambientais com Isótopos Estáveis*; São Paulo: Oficina de Textos.
- Miranda J.M. (2009). *Terra, Ambiente e Clima na Perspectiva do Sistema Terrestre*. Notas de Aula, Universidade de Lisboa, 75p.
- O'Leary, M. H.(1988); Carbon Isotopes in Photosynthesis, *BioScience* Vol. 38, No. 5, pp. 328-336
- Pacheco, W. L. (2010). *Quantificação de biomassa da terra indígena sete de setembro utilizando imagem do sensor tm do satélite landsat 5*. Monografia de Especialização, Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, 47p.
- Pereira, L.; Santiago, M. M. F.; Mendonça, L. A. R.; Frischkorn, H.; Lima, J. O. G.; Filho, J. M. (2004); Medidas Hidroquímicas e Isotópicas em Águas Subterrâneas que abastecem o Município de São Luis – Maranhão. *Revista Águas Subterrâneas*, 18.
- Pimentel M.M., Heaman L., Fuck R.A. (1992). Idade do metariolito da Seqüência Maratá, Grupo Araxá, Goiás: estudo geocronológico pelos métodos U-Pb em zircão, Rb-Sr e Sm-Nd. *An. Acad. Bras. Cien.* 64:19-28.
- Pimentel M.M., Fuck R.A., Dardenne M.A., Del'rey Silva L.J.H., Meneses P.R. (1995). Magmatismo ácido peraluminoso associado ao Grupo Araxá na região entre Pires do Rio e Ipameri, Goiás: características geoquímicas e implicações geotectônicas. In: SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, 3, Goiânia, Anais..., p.68-71.
- Press, F, Siever R.,Grotzinger, J. & Jordan, T. H., (2006). *Para Entender a Terra*. Tradução Rualdo Menegat, 4 ed. – Porto Alegre: bookman, 656 p.: il.
- Ruhoff, A. L.; Saldanha, C. B.; Collischonn, W.; Uvo, C. B.; Rocha, H. R.; Cabral, O. M. R.



- (2009). Análise Multivariada do Processo de Evapotranspiração em Áreas de Cerrado e Cana-de-Açúcar. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 14(4), 137-146.
- Sandri, D. & Cortez, D. A. (2009). Parâmetros de desempenho de dezesseis equipamentos de irrigação por pivô central. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(1), p. 271-278.
- Santos, R. V. & Clayton, R. N. (1995). Variations of oxygen and carbon isotopes in carbonatites: A study of brazilian alkaline complexes. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 59(7), 1339-1352.
- Santos, R. V.; Alvarenga, C. J. S.; Dardene, M. A.; Sial, A. N.; Ferreira, V. P. (2000). Carbon and oxygen isotope profiles across Meso-Neoproterozoic limestones from central Brazil: Bambuí and Paranoá groups. *Precambrian Research* 104, 107-122.
- Souza M. T. & Campos J.E.G. (2001). O Papel dos Rigolitos nos Processos de Recarga de Aquíferos do Distrito Federal. *Revista Escola de Minas*, 54(3):13p.
- Teixeira N.A. & Danni J.C.M. (1978). Contribuição a estratigrafia do Grupo Araxá na região de Passos, MG. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 30. Recife, 1970. Anais ... Recife, Vol. 3 p.700-711.
- Tranvick, L. J., Jansson M., Evans, C. D., Freeman, C., Monteith, D. T., Reynolds, B., Fenner, N.:(2002). Terrestrial export of organic carbon. *Nature* 415 861-862.
- Wada, Y; Ludovicus, P. H. B.; Cheryl, M. K.; Joseph, W. T. M. R; Slavek, V.; Mark, F. P. B.; (2010). Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters*. 37 L20402.
- Willis. D. W. (2008). *Hydrogeology Field Manual*. 769p. McGraw-Hill Professional Publishing.



## 7.2 APÊNDICES

### 7.2.1 ANEXOS

#### 7.2.1.1 RESULTADOS DO DESVIO DE RAZÃO ISOTÓPICA DE CARBONO - $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (‰)
7	AQ-3A	18-jun-09	13-mai-09	-17,56
26	AQ-3A	18-jun-09	08-jun-09	-18,50
56	AQ-3A	30-out-09	07-jul-09	-9,68
101	AQ-3A	26-out-09	18-ago-09	-12,38
129	AQ-3A	26-out-09	21-set-09	-14,24
218	AQ-3A		03-abr-09	-13,68
310	AQ-3A	12-nov-10	20-jan-10	-9,62
616	AQ-3A	9-nov-10	12-fev-10	-14,31
792	AQ-3A	9-nov-10	26-mar-10	-14,64
821	AQ-3A	1-set-10	26-abr-10	-11,65
1164	AQ-3A	1-set-10	05-jul-10	-13,11
1185	AQ-3A	1-set-10	09-ago-10	-13,19
1375	AQ-3A	9-nov-10	06-out-10	-15,81
10	BA-03	18-jun-09	11-mai-09	-19,05
30	BA-03	18-jun-09	09-jun-09	-7,23
51	BA-03	30-out-09	06-jul-09	-12,95
110	BA-03	26-out-09	27-ago-09	-18,90
141	BA-03	26-out-09	24-set-09	-19,01
221	BA-03		10-fev-09	-20,42
223	BA-03		15-abr-09	-18,47
322	BA-03	12-nov-10	08-jan-10	-18,45
618	BA-03	9-nov-10	08-fev-10	-12,35
776	BA-03	9-nov-10	17-mar-10	-18,65
1379	BA-03	9-nov-10	01-out-10	-19,59
1521	BA-03	9-nov-10	03-nov-10	-20,75
68	BUV	30-out-09	13-jul-09	-6,68
114	BUV	26-out-09	31-ago-09	-7,99
224	BUV		06-abr-09	-5,69
631	BUV	9-nov-10	25-fev-10	-9,51
775	BUV	9-nov-10	30-mar-10	-10,03
809	BUV	1-set-10	30-abr-10	-7,95
1154	BUV	1-set-10	06-jul-10	-7,69
1176	BUV	1-set-10	06-ago-10	-7,52
1371	BUV	9-nov-10	08-out-10	-9,16



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (/1000)
5	CAU4	18-jun-09	13-mai-09	-20,86
24	CAU4	18-jun-09	08-jun-09	-19,92
104	CAU4	26-out-09	19-ago-09	-17,78
128	CAU4	26-out-09	21-set-09	-20,42
226	CAU4		20-abr-09	-21,15
615	CAU4	9-nov-10	12-fev-10	-14,71
1377	CAU4	9-nov-10	06-out-10	-20,67
23	EPO-BE1	18-jun-09	11-mai-09	-18,08
31	EPO-BE1	18-jun-09	09-jun-09	-12,25
52	EPO-BE1	30-out-09	06-jul-09	-13,63
125	EPO-BE1	26-out-09	01-set-09	-17,42
231	EPO-BE1		22-abr-09	-18,24
392	EPO-BE1	9-nov-10	28-jan-10	-17,80
796	EPO-BE1	9-nov-10	17-mar-10	-17,91
896	EPO-BE1	1-set-10	23-jun-10	-18,50
1170	EPO-BE1	1-set-10	03-ago-10	-16,71
1518	EPO-BE1	9-nov-10	03-nov-10	-19,71
13	EPO-BON	18-jun-09	12-mai-09	-5,78
37	EPO-BON	18-jun-09	10-jun-09	-12,77
64	EPO-BON	30-out-09	08-jul-09	-10,27
109	EPO-BON	26-out-09	27-ago-09	-11,16
139	EPO-BON	26-out-09	24-set-09	-11,16
324	EPO-BON	12-nov-10	08-jan-10	-11,44
612	EPO-BON	9-nov-10	09-fev-10	-11,37
798	EPO-BON	1-set-10	18-mar-10	-11,11
807	EPO-BON	1-set-10	28-abr-10	-8,57
1159	EPO-BON	1-set-10	06-jul-10	-10,99
1168	EPO-BON	1-set-10	05-ago-10	-11,38
1369	EPO-BON	9-nov-10	07-out-10	-11,97
1525	EPO-BON	12-nov-10	08-nov-10	-12,40
32	EPO-CAT2	18-jun-09	09-jun-09	-8,84
58	EPO-CAT2	30-out-09	06-jul-09	-9,80
105	EPO-CAT2	26-out-09	24-ago-09	-9,99
131	EPO-CAT2	26-out-09	22-set-09	-9,80
236	EPO-CAT2	12-nov-10	10-fev-09	-9,16
237	EPO-CAT2	12-nov-10	12-mar-09	-3,06
238	EPO-CAT2		15-abr-09	-9,62
239	EPO-CAT2	18-jun-09	11-mai-09	-7,14
244	EPO-CAT2	12-nov-10	12-jan-10	-10,67
619	EPO-CAT2	9-nov-10	08-fev-10	-10,30



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (/1000)
795	EPO-CAT2	9-nov-10	16-mar-10	-11,46
825	EPO-CAT2	1-set-10	27-abr-10	-9,75
881	EPO-CAT2	1-set-10	08-jun-10	-9,80
1173	EPO-CAT2	1-set-10	03-ago-10	-9,88
1385	EPO-CAT2	9-nov-10	01-out-10	-11,48
1517	EPO-CAT2	9-nov-10	03-nov-10	-11,02
16	EPO-CATO	18-jun-09	12-mai-09	-20,78
36	EPO-CATO	18-jun-09	10-jun-09	-16,71
71	EPO-CATO	30-out-09	14-jul-09	-7,07
111	EPO-CATO	26-out-09	31-ago-09	-17,81
137	EPO-CATO	26-out-09	24-set-09	-17,61
240	EPO-CATO	12-nov-10	10-fev-09	-14,15
241	EPO-CATO	12-nov-10	11-mar-09	-13,26
352	EPO-CATO	9-nov-10	25-jan-10	-16,56
611	EPO-CATO	9-nov-10	09-fev-10	-16,39
897	EPO-CATO	1-set-10	23-jun-10	-19,58
1376	EPO-CATO	9-nov-10	07-out-10	-20,95
1526	EPO-CATO	12-nov-10	08-nov-10	-20,51
20	EPO-CG2	18-jun-09	13-mai-09	-18,74
28	EPO-CG2	18-jun-09	08-jun-09	-20,32
53	EPO-CG2	30-out-09	07-jul-09	-15,04
103	EPO-CG2	26-out-09	19-ago-09	-19,45
127	EPO-CG2	26-out-09	21-set-09	-19,63
242	EPO-CG2		20-abr-09	-19,50
299	EPO-CG2	12-nov-10	20-jan-10	-17,64
622	EPO-CG2	9-nov-10	12-fev-10	-5,26
791	EPO-CG2	9-nov-10	26-mar-10	-13,98
824	EPO-CG2	1-set-10	26-abr-10	-17,20
1155	EPO-CG2	1-set-10	07-jul-10	-19,17
1187	EPO-CG2	1-set-10	09-ago-10	-18,95
1366	EPO-CG2	9-nov-10	06-out-10	-20,09
19	EPO-CHA2	18-jun-09	14-mai-09	-9,43
41	EPO-CHA2	18-jun-09	15-jun-09	-19,07
74	EPO-CHA2	30-out-09	17-jul-09	-14,99
119	EPO-CHA2	26-out-09	01-set-09	-16,15
142	EPO-CHA2	26-out-09	25-set-09	-16,40
245	EPO-CHA2	12-nov-10	12-fev-09	-5,01
246	EPO-CHA2	12-nov-10	12-mar-09	-14,78
247	EPO-CHA2		08-abr-09	-14,17
325	EPO-CHA2	9-nov-10	21-jan-10	-15,63
628	EPO-CHA2	9-nov-10	05-fev-10	-16,74



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (/1000)
788	EPO-CHA2	9-nov-10	30-mar-10	-17,15
805	EPO-CHA2	1-set-10	04-mai-10	-13,53
1179	EPO-CHA2	1-set-10	06-ago-10	-16,24
1381	EPO-CHA2	9-nov-10	29-set-10	-17,93
1364	EPO-IT1	9-nov-10	07-out-10	-20,98
66	EPO-ITA	30-out-09	13-jul-09	-8,38
115	EPO-ITA	26-out-09	31-ago-09	-15,57
147	EPO-ITA	26-out-09	29-set-09	-15,57
235	EPO-ITA	12-nov-10	19-jan-10	-13,94
248	EPO-ITA		11-fev-09	-8,72
249	EPO-ITA	12-nov-10	13-mar-09	-15,88
250	EPO-ITA		06-abr-09	-13,19
637	EPO-ITA	9-nov-10	25-fev-10	-15,24
784	EPO-ITA	9-nov-10	30-mar-10	-16,00
815	EPO-ITA	1-set-10	30-abr-10	-14,68
1156	EPO-ITA	1-set-10	06-jul-10	-9,04
1175	EPO-ITA	1-set-10	06-ago-10	-14,45
1365	EPO-ITA	9-nov-10	08-out-10	-16,82
72	EPO-JAR	30-out-09	13-jul-09	-15,27
116	EPO-JAR	26-out-09	31-ago-09	-15,24
234	EPO-JAR	12-nov-10	19-jan-10	-16,61
251	EPO-JAR	12-nov-10	11-fev-09	-14,84
252	EPO-JAR	12-nov-10	13-mar-09	-11,86
253	EPO-JAR		06-abr-09	-11,60
635	EPO-JAR	9-nov-10	25-fev-10	-17,54
789	EPO-JAR	9-nov-10	30-mar-10	-17,05
814	EPO-JAR	1-set-10	30-abr-10	-15,12
1162	EPO-JAR	1-set-10	06-jul-10	-14,84
1178	EPO-JAR	1-set-10	06-ago-10	-14,62
15	EPO-NB2	18-jun-09	14-mai-09	-10,84
40	EPO-NB2	18-jun-09	15-jun-09	-21,46
73	EPO-NB2	30-out-09	17-jul-09	-17,36
120	EPO-NB2	26-out-09	01-set-09	-19,71
143	EPO-NB2	26-out-09	25-set-09	-20,11
220	EPO-NB2		06-abr-09	-18,91
254	EPO-NB2		12-fev-09	-20,89
625	EPO-NB2	9-nov-10	05-fev-10	-14,44
783	EPO-NB2	9-nov-10	30-mar-10	-18,69
1383	EPO-NB2	9-nov-10	29-set-10	-21,39
11	EPO-QL2	18-jun-09	11-mai-09	-9,74
29	EPO-QL2	18-jun-09	09-jun-09	-18,65



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{13}C/^{12}C$ (/1000)
55	EPO-QL2	30-out-09	06-jul-09	-11,31
106	EPO-QL2	26-out-09	24-ago-09	-11,78
133	EPO-QL2	26-out-09	22-set-09	-11,48
255	EPO-QL2	12-nov-10	09-nov-09	-11,82
257	EPO-QL2	12-nov-10	12-jan-10	-12,12
258	EPO-QL2		10-fev-09	-11,95
621	EPO-QL2	9-nov-10	08-fev-10	-12,37
797	EPO-QL2	1-set-10	17-mar-10	-11,95
811	EPO-QL2	1-set-10	27-abr-10	-12,23
879	EPO-QL2	1-set-10	08-jun-10	-11,41
1174	EPO-QL2	1-set-10	03-ago-10	-11,67
1384	EPO-QL2	9-nov-10	01-out-10	-12,47
1520	EPO-QL2	9-nov-10	03-nov-10	-12,49
14	EPO-QN	18-jun-09	15-mai-09	-20,39
62	EPO-QN	30-out-09	08-jul-09	-15,33
117	EPO-QN	26-out-09	31-ago-09	-18,03
260	EPO-QN	12-nov-10	23-nov-09	-18,86
261	EPO-QN		06-abr-09	-16,97
262	EPO-QN	12-nov-10	13-mar-09	-16,20
263	EPO-QN		11-fev-09	-19,63
328	EPO-QN	12-nov-10	21-jan-10	-13,90
634	EPO-QN	9-nov-10	26-fev-10	-16,71
787	EPO-QN	9-nov-10	30-mar-10	-18,76
1190	EPO-QN	1-set-10	24-ago-10	-18,82
1367	EPO-QN	9-nov-10	08-out-10	-20,98
1523	EPO-QN	12-nov-10	08-nov-10	-21,28
1363	EPO-SB3	9-nov-10	08-out-10	-19,45
9	EPO-SBAT	18-jun-09	15-mai-09	-19,00
63	EPO-SBAT	30-out-09	08-jul-09	-15,96
118	EPO-SBAT	26-out-09	31-ago-09	-18,08
264	EPO-SBAT	12-nov-10	09-dez-09	-18,33
265	EPO-SBAT	12-nov-10	23-nov-09	-18,09
266	EPO-SBAT		09-abr-09	-12,28
267	EPO-SBAT	12-nov-10	13-mar-09	-14,08
268	EPO-SBAT	12-nov-10	12-fev-09	-4,32
326	EPO-SBAT	12-nov-10	21-jan-10	-16,16
633	EPO-SBAT	9-nov-10	25-fev-10	-18,08
785	EPO-SBAT	9-nov-10	30-mar-10	-18,16
816	EPO-SBAT	1-set-10	30-abr-10	-17,02
1177	EPO-SBAT	1-set-10	06-ago-10	-17,50
1368	EPO-SBAT	9-nov-10	08-out-10	-18,00



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (/1000)
1522	EPO-SBAT	12-nov-10	08-nov-10	-19,00
3	EPO-TAB	18-jun-09	15-mai-09	-14,97
67	EPO-TAB	30-out-09	08-jul-09	-8,41
113	EPO-TAB	26-out-09	31-ago-09	-6,51
146	EPO-TAB	26-out-09	29-set-09	-6,63
269	EPO-TAB	12-nov-10	09-dez-09	-10,81
270	EPO-TAB	12-nov-10	23-nov-09	-10,58
271	EPO-TAB		06-abr-09	-4,94
272	EPO-TAB	12-nov-10	13-mar-09	-6,77
273	EPO-TAB	12-nov-10	11-fev-09	-10,57
300	EPO-TAB	12-nov-10	19-jan-10	-9,84
632	EPO-TAB	9-nov-10	25-fev-10	-8,66
781	EPO-TAB	9-nov-10	31-mar-10	-10,79
819	EPO-TAB	1-set-10	30-abr-10	-8,06
1152	EPO-TAB	1-set-10	06-jul-10	-6,28
1191	EPO-TAB	1-set-10	24-ago-10	-5,94
1362	EPO-TAB	9-nov-10	07-out-10	-8,53
1528	EPO-TAB	12-nov-10	08-nov-10	-7,06
2	EPO-TAQ2	18-jun-09	12-mai-09	-18,89
34	EPO-TAQ2	18-jun-09	10-jun-09	-8,31
60	EPO-TAQ2	30-out-09	08-jul-09	-16,27
112	EPO-TAQ2	26-out-09	31-ago-09	-19,66
140	EPO-TAQ2	26-out-09	24-set-09	-20,09
274	EPO-TAQ2		10-fev-09	-20,80
275	EPO-TAQ2	12-nov-10	19-jan-10	-17,93
276	EPO-TAQ2		07-abr-09	-16,13
277	EPO-TAQ2	12-nov-10	17-nov-09	-19,53
610	EPO-TAQ2	9-nov-10	09-fev-10	-19,69
822	EPO-TAQ2	1-set-10	28-abr-10	-15,79
1166	EPO-TAQ2	1-set-10	05-ago-10	-17,58
1372	EPO-TAQ2	9-nov-10	07-out-10	-20,43
1527	EPO-TAQ2	12-nov-10	08-nov-10	-21,31
6	EPO-VP	18-jun-09	13-mai-09	-8,72
6	EPO-VP	18-jun-09	13-mai-09	-8,72
27	EPO-VP	18-jun-09	08-jun-09	-11,75
54	EPO-VP	30-out-09	07-jul-09	-4,90
102	EPO-VP	26-out-09	19-ago-09	-14,18
126	EPO-VP	26-out-09	21-set-09	-14,60
279	EPO-VP	12-nov-10	13-fev-09	-13,47
280	EPO-VP	12-nov-10	06-mar-09	-9,66
280	EPO-VP	12-nov-10	06-mar-09	-9,66



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{13}C/^{12}C$ (/1000)
281	EPO-VP		03-abr-09	-14,65
283	EPO-VP	12-nov-10	03-dez-09	-16,47
614	EPO-VP	9-nov-10	12-fev-10	-13,86
778	EPO-VP	9-nov-10	31-mar-10	-13,61
1374	EPO-VP	9-nov-10	06-out-10	-15,22
18	I8-05	18-jun-09	13-mai-09	-16,63
25	I8-05	18-jun-09	08-jun-09	-7,34
57	I8-05	30-out-09	07-jul-09	-9,24
100	I8-05	26-out-09	18-ago-09	-9,06
130	I8-05	26-out-09	21-set-09	-9,03
243	I8-05	12-nov-10	20-jan-10	-11,99
284	I8-05	12-nov-10	13-fev-09	-4,25
285	I8-05	12-nov-10	06-mar-09	-5,14
286	I8-05		20-abr-09	-8,41
287	I8-05	12-nov-10	12-nov-09	-12,12
288	I8-05	12-nov-10	03-dez-09	-10,88
617	I8-05	9-nov-10	12-fev-10	-11,26
790	I8-05	9-nov-10	26-mar-10	-11,73
823	I8-05	1-set-10	26-abr-10	-9,62
1163	I8-05	1-set-10	05-jul-10	-8,92
1188	I8-05	1-set-10	09-ago-10	-8,29
1378	I8-05	9-nov-10	06-out-10	-10,44
22	IT-01	18-jun-09	14-mai-09	-15,69
124	IT-01	26-out-09	01-set-09	-19,79
289	IT-01	12-nov-10	12-fev-09	-9,42
290	IT-01	12-nov-10	12-mar-09	-15,82
291	IT-01		08-abr-09	-21,21
323	IT-01	12-nov-10	11-jan-10	-17,41
1160	IT-01	1-set-10	12-jul-10	-19,25
1184	IT-01	1-set-10	11-ago-10	-19,10
8	MS-05	18-jun-09	14-mai-09	-20,44
38	MS-05	18-jun-09	15-jun-09	-15,18
65	MS-05	30-out-09	13-jul-09	-16,45
99	MS-05		13-abr-09	-19,20
123	MS-05	26-out-09	01-set-09	-19,92
145	MS-05	26-out-09	25-set-09	-19,98
294	MS-05	12-nov-10	12-fev-09	-11,07
295	MS-05	12-nov-10	12-mar-09	-4,12
296	MS-05	12-nov-10	16-nov-09	-18,96
320	MS-05	12-nov-10	11-jan-10	-10,82
636	MS-05	9-nov-10	26-fev-10	-16,65



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (/1000)
777	MS-05	9-nov-10	31-mar-10	-19,79
883	MS-05	1-set-10	14-jun-10	-18,80
1157	MS-05	1-set-10	12-jul-10	-18,72
1183	MS-05	1-set-10	11-ago-10	-19,76
1370	MS-05	9-nov-10	08-out-10	-20,69
4	NC-04	18-jun-09	12-mai-09	-12,42
35	NC-04	18-jun-09	10-jun-09	-18,89
59	NC-04	30-out-09	08-jul-09	-4,31
108	NC-04	26-out-09	27-ago-09	-18,14
138	NC-04	26-out-09	24-set-09	-18,42
298	NC-04	12-nov-10	10-fev-09	-8,24
623	NC-04	9-nov-10	08-fev-10	-17,17
794	NC-04	9-nov-10	16-mar-10	-17,88
1169	NC-04	1-set-10	05-ago-10	-17,07
1373	NC-04	9-nov-10	07-out-10	-19,55
1524	NC-04	12-nov-10	08-nov-10	-19,55
17	SB-03	18-jun-09	14-mai-09	-12,50
69	SB-03	30-out-09	13-jul-09	-9,32
122	SB-03	26-out-09	01-set-09	-19,49
135	SB-03	26-out-09	22-set-09	-19,60
303	SB-03	12-nov-10	12-fev-09	-3,37
304	SB-03	12-nov-10	12-mar-09	-13,05
305	SB-03		13-abr-09	-18,06
626	SB-03	9-nov-10	05-fev-10	-16,07
780	SB-03	9-nov-10	31-mar-10	-20,22
1165	SB-03	1-set-10	12-jul-10	-18,47
1182	SB-03	1-set-10	10-ago-10	-18,79
21	SO-18	18-jun-09	11-mai-09	-19,92
21	SO-18	18-jun-09	11-mai-09	-19,92
33	SO-18	18-jun-09	09-jun-09	-20,58
50	SO-18	30-out-09	06-jul-09	-6,18
107	SO-18	26-out-09	24-ago-09	-17,88
134	SO-18	26-out-09	22-set-09	-19,38
308	SO-18	12-nov-10	10-fev-09	-10,29
308	SO-18	12-nov-10	10-fev-09	-10,29
321	SO-18	12-nov-10	08-jan-10	-17,45
1171	SO-18	1-set-10	03-ago-10	-19,03
1380	SO-18	9-nov-10	01-out-10	-20,18
1382	SO-18	9-nov-10	29-set-10	-9,96
1519	SO-18	9-nov-10	03-nov-10	-21,31
12	SS-18	18-jun-09	14-mai-09	-19,21



Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – IG/UnB

Programa de Pós-Graduação em Geologia

**Águas subterrâneas do distrito federal - efeito de sazonalidade e características associadas aos isótopos de deutério, oxigênio e carbono**

Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ (/1000)
39	SS-18	18-jun-09	15-jun-09	-8,45
75	SS-18	30-out-09	17-jul-09	-2,28
121	SS-18	26-out-09	01-set-09	-8,79
144	SS-18	26-out-09	25-set-09	-8,31
313	SS-18		12-fev-09	-9,27
314	SS-18	12-nov-10	12-mar-09	-9,54
315	SS-18		17-abr-09	-8,50
316	SS-18	12-nov-10	16-nov-09	-8,93
317	SS-18	12-nov-10	10-dez-09	-10,00
319	SS-18	12-nov-10	11-jan-10	-9,23
627	SS-18	9-nov-10	05-fev-10	-9,47
786	SS-18	9-nov-10	30-mar-10	-10,61
806	SS-18	1-set-10	04-mai-10	-8,05
884	SS-18	1-set-10	14-jun-10	-8,22
1181	SS-18	1-set-10	10-ago-10	-9,48

7.2.1.2 RESULTADOS DO DESVIO DE RAZÃO ISOTÓPICA DE DEUTÉRIO -  $\delta^2\text{H}/^1\text{H}$ 

Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^2\text{H}/^1\text{H}$ (/1000)
7	AQ-3A	7-abr-10	13-mai-09	-36,19
26	AQ-3A	13-jun-10	08-jun-09	-32,38
56	AQ-3A	24-jun-10	07-jul-09	-36,17
101	AQ-3A	24-jun-10	18-ago-09	-38,82
129	AQ-3A	24-jun-10	21-set-09	-37,44
310	AQ-3A	24-jun-10	20-jan-10	-38,87
616	AQ-3A	24-jun-10	12-fev-10	-37,48
792	AQ-3A	7-abr-10	26-mar-10	-34,92
821	AQ-3A	16-jun-10	26-abr-10	-36,93
1164	AQ-3A	20-ago-10	05-jul-10	-37,17
1185	AQ-3A	20-ago-10	09-ago-10	-37,54
1375	AQ-3A	29-nov-10	06-out-10	-40,68
184	AQ-3A	21-jan-10	23-out-09	-39,56
192	AQ-3A	13-jun-10	03-dez-09	-34,86
193	AQ-3A	13-jun-10	12-nov-09	-40,45
216	AQ-3A	24-jun-10	13-fev-09	-37,56
217	AQ-3A	24-jun-10	06-mar-09	-36,41
217	AQ-3A	24-jun-10	06-mar-09	-36,41
10	BA-03	13-jun-10	11-mai-09	-41,34
30	BA-03	24-jun-10	09-jun-09	-41,58
51	BA-03	24-jun-10	06-jul-09	-41,85
110	BA-03	13-jun-10	27-ago-09	-43,93
141	BA-03	13-jun-10	24-set-09	-41,51
221	BA-03	13-jun-10	10-fev-09	-42,72
223	BA-03	13-jun-10	15-abr-09	-43,46
322	BA-03	13-jun-10	08-jan-10	-42,06
618	BA-03	13-jun-10	08-fev-10	-43,75
776	BA-03	30-jun-10	17-mar-10	-41,86
1379	BA-03	29-nov-10	01-out-10	-43,88
1521	BA-03	29-nov-10	03-nov-10	-46,27
165	BA-03	13-jun-10	15-out-09	-41,89
194	BA-03	13-jun-10	09-nov-09	-40,47
195	BA-03	13-jun-10	07-dez-09	-40,80
222	BA-03	13-jun-10	09-mar-09	-40,60
820	BA-03	16-jun-10	27-abr-10	-42,57
880	BA-03	17-jun-10	08-jun-10	-43,83
1172	BA-03	20-ago-10	03-ago-10	-43,77
68	BUV	1-mar-09	13-jul-09	-34,45
114	BUV	1-mar-09	31-ago-09	-33,94



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
224	BUV	13-jun-10	06-abr-09	-36,72
631	BUV	13-jun-10	25-fev-10	-37,76
775	BUV	7-abr-10	30-mar-10	-34,69
809	BUV	16-jun-10	30-abr-10	-36,92
1154	BUV	20-ago-10	06-jul-10	-37,84
1176	BUV	20-ago-10	06-ago-10	-36,79
1371	BUV	29-nov-10	08-out-10	-40,26
45	BUV	13-jun-10	23-jun-09	-37,53
153	BUV	1-mar-09	02-out-09	-35,43
190	BUV	13-jun-10	20-out-09	-38,50
196	BUV	13-jun-10	17-nov-09	-36,94
197	BUV	13-jun-10	09-dez-09	-37,40
225	BUV	4-mar-10	19-jan-10	-35,64
1531	BUV	29-nov-10	10-nov-10	-42,44
5	CAU4	1-mar-09	13-mai-09	-40,96
24	CAU4	13-jun-10	08-jun-09	-38,72
104	CAU4	1-mar-09	19-ago-09	-35,50
128	CAU4	1-mar-09	21-set-09	-37,14
226	CAU4	1-mar-09	20-abr-09	-36,92
615	CAU4	4-mar-10	12-fev-10	-37,82
1377	CAU4	29-nov-10	06-out-10	-43,98
61	CAU4	1-mar-09	07-jul-09	-36,04
172	CAU4	4-mar-10	23-out-09	-35,66
198	CAU4	13-jun-10	12-nov-09	-40,41
199	CAU4	13-jun-10	03-dez-09	-40,19
227	CAU4	4-mar-10	06-mar-09	-36,05
228	CAU4	4-mar-10	13-fev-09	-38,71
256	CAU4	4-mar-10	20-jan-10	-37,84
779	CAU4	13-jun-10	31-mar-10	-40,35
812	CAU4	16-jun-10	26-abr-10	-38,30
1161	CAU4	20-ago-10	07-jul-10	-41,58
1189	CAU4	20-ago-10	09-ago-10	-39,01
1540	CAU4	3-dez-10	12-nov-10	-58,76
23	EPO-BE1	1-mar-09	11-mai-09	-38,20
31	EPO-BE1	13-jun-10	09-jun-09	-38,44
52	EPO-BE1	1-mar-09	06-jul-09	-33,49
125	EPO-BE1	1-mar-09	01-set-09	-33,99
231	EPO-BE1	1-mar-09	22-abr-09	-35,44
392	EPO-BE1	4-mar-10	28-jan-10	-35,44
796	EPO-BE1	7-abr-10	17-mar-10	-39,11
896	EPO-BE1	30-jun-10	23-jun-10	-36,92



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
1170	EPO-BE1	20-ago-10	03-ago-10	-36,27
1518	EPO-BE1	29-nov-10	03-nov-10	-39,15
154	EPO-BE1	1-mar-09	06-out-09	-37,03
200	EPO-BE1	13-jun-10	07-dez-09	-37,17
229	EPO-BE1	21-jan-10	19-fev-09	-37,22
230	EPO-BE1	13-jun-10	09-mar-09	-38,10
624	EPO-BE1	4-mar-10	08-fev-10	-34,51
802	EPO-BE1	16-jun-10	05-mai-10	-35,76
13	EPO-BON	1-mar-09	12-mai-09	-39,91
37	EPO-BON	21-jan-10	10-jun-09	-39,79
64	EPO-BON	1-mar-09	08-jul-09	-34,09
109	EPO-BON	1-mar-09	27-ago-09	-33,74
139	EPO-BON	1-mar-09	24-set-09	-34,01
324	EPO-BON	16-jun-10	08-jan-10	-37,68
612	EPO-BON	4-mar-10	09-fev-10	-34,67
798	EPO-BON	7-abr-10	18-mar-10	-37,65
807	EPO-BON	16-jun-10	28-abr-10	-37,43
1159	EPO-BON	20-ago-10	06-jul-10	-39,13
1168	EPO-BON	20-ago-10	05-ago-10	-38,06
1369	EPO-BON	29-nov-10	07-out-10	-43,88
1525	EPO-BON	29-nov-10	08-nov-10	-41,06
157	EPO-BON	1-mar-09	13-out-09	-38,65
201	EPO-BON	13-jun-10	10-nov-09	-40,42
202	EPO-BON	21-jan-10	08-dez-09	-39,36
233	EPO-BON	1-mar-09	10-fev-09	-33,89
32	EPO-CAT2	14-jun-10	09-jun-09	-37,64
58	EPO-CAT2	1-mar-09	06-jul-09	-34,61
105	EPO-CAT2	1-mar-09	24-ago-09	-35,45
131	EPO-CAT2	1-mar-09	22-set-09	-38,40
236	EPO-CAT2	1-mar-09	10-fev-09	-38,30
237	EPO-CAT2	21-jan-10	12-mar-09	-39,67
238	EPO-CAT2	1-mar-09	15-abr-09	-37,03
239	EPO-CAT2	14-jun-10	11-mai-09	-39,00
244	EPO-CAT2	4-mar-10	12-jan-10	-39,52
619	EPO-CAT2	4-mar-10	08-fev-10	-40,20
795	EPO-CAT2	7-abr-10	16-mar-10	-38,43
825	EPO-CAT2	17-jun-10	27-abr-10	-41,64
881	EPO-CAT2	17-jun-10	08-jun-10	-41,49
1173	EPO-CAT2	20-ago-10	03-ago-10	-39,95
1385	EPO-CAT2	29-nov-10	01-out-10	-44,16
1517	EPO-CAT2	29-nov-10	03-nov-10	-43,44



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
164	EPO-CAT2	1-mar-09	15-out-09	-39,03
203	EPO-CAT2	14-jun-10	09-nov-09	-41,34
204	EPO-CAT2	16-jun-10	07-dez-09	-39,87
16	EPO-CATO	14-jun-10	12-mai-09	-38,61
36	EPO-CATO	14-jun-10	10-jun-09	-38,83
71	EPO-CATO	1-mar-09	14-jul-09	-38,14
111	EPO-CATO	1-mar-09	31-ago-09	-39,35
137	EPO-CATO	1-mar-09	24-set-09	-39,70
240	EPO-CATO	1-mar-09	10-fev-09	-39,01
241	EPO-CATO	4-mar-10	11-mar-09	-36,59
352	EPO-CATO	4-mar-10	25-jan-10	-39,53
611	EPO-CATO	4-mar-10	09-fev-10	-39,93
897	EPO-CATO	30-jun-10	23-jun-10	-40,43
1376	EPO-CATO	29-nov-10	07-out-10	-43,23
1526	EPO-CATO	29-nov-10	08-nov-10	-44,33
158	EPO-CATO	1-mar-09	13-out-09	-40,79
205	EPO-CATO	14-jun-10	17-nov-09	-38,36
206	EPO-CATO	14-jun-10	08-dez-09	-37,91
800	EPO-CATO	7-abr-10	18-mar-10	-38,98
801	EPO-CATO	16-jun-10	05-mai-10	-39,56
1167	EPO-CATO	20-ago-10	05-ago-10	-40,89
20	EPO-CG2	1-mar-09	13-mai-09	-35,21
28	EPO-CG2	14-jun-10	08-jun-09	-34,01
53	EPO-CG2	1-mar-09	07-jul-09	-32,88
103	EPO-CG2	1-mar-09	19-ago-09	-34,05
127	EPO-CG2	1-mar-09	21-set-09	-34,02
242	EPO-CG2	1-mar-09	20-abr-09	-36,80
299	EPO-CG2	4-mar-10	20-jan-10	-37,69
622	EPO-CG2	4-mar-10	12-fev-10	-36,03
791	EPO-CG2	7-abr-10	26-mar-10	-36,75
824	EPO-CG2	17-jun-10	26-abr-10	-49,22
1155	EPO-CG2	20-ago-10	07-jul-10	-36,87
1187	EPO-CG2	20-ago-10	09-ago-10	-33,57
1366	EPO-CG2	29-nov-10	06-out-10	-42,97
183	EPO-CG2	14-jun-10	23-out-09	-34,13
207	EPO-CG2	14-jun-10	12-nov-09	-35,10
208	EPO-CG2	14-jun-10	03-dez-09	-34,24
1539	EPO-CG2	3-dez-10	12-nov-10	-33,27
19	EPO-CHA2	24-jun-10	14-mai-09	-36,42
41	EPO-CHA2	24-jun-10	15-jun-09	-35,73
74	EPO-CHA2	24-jun-10	17-jul-09	-36,41



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
119	EPO-CHA2	24-jun-10	01-set-09	-37,43
142	EPO-CHA2	24-jun-10	25-set-09	-38,40
245	EPO-CHA2	24-jun-10	12-fev-09	-32,80
246	EPO-CHA2	24-jun-10	12-mar-09	-38,86
247	EPO-CHA2	1-mar-09	08-abr-09	-33,04
187	EPO-CHA2	14-jun-10	19-out-09	-36,01
209	EPO-CHA2	14-jun-10	19-nov-09	-36,09
210	EPO-CHA2	14-jun-10	09-dez-09	-35,66
325	EPO-CHA2	30-jun-10	21-jan-10	-35,65
628	EPO-CHA2	24-jun-10	05-fev-10	-38,18
788	EPO-CHA2	7-abr-10	30-mar-10	-37,05
805	EPO-CHA2	16-jun-10	04-mai-10	-37,82
1179	EPO-CHA2	20-ago-10	06-ago-10	-37,10
1381	EPO-CHA2	29-nov-10	29-set-10	-41,48
1537	EPO-CHA2	29-nov-10	10-nov-10	-43,29
1364	EPO-IT1	29-nov-10	07-out-10	-42,51
46	EPO-ITA	14-jun-10	23-jun-09	-34,66
182	EPO-ITA	14-jun-10	20-out-09	-35,09
211	EPO-ITA	14-jun-10	17-nov-09	-34,91
212	EPO-ITA	14-jun-10	09-dez-09	-34,65
66	EPO-ITA	24-jun-10	13-jul-09	-36,25
115	EPO-ITA	24-jun-10	31-ago-09	-37,19
147	EPO-ITA	24-jun-10	29-set-09	-37,05
235	EPO-ITA	24-jun-10	19-jan-10	-38,36
248	EPO-ITA	21-jan-10	11-fev-09	-38,24
249	EPO-ITA	24-jun-10	13-mar-09	-38,34
250	EPO-ITA	24-jun-10	06-abr-09	-40,75
637	EPO-ITA	14-jun-10	25-fev-10	-35,02
784	EPO-ITA	24-jun-10	30-mar-10	-37,64
815	EPO-ITA	16-jun-10	30-abr-10	-36,40
1156	EPO-ITA	20-ago-10	06-jul-10	-37,58
1175	EPO-ITA	20-ago-10	06-ago-10	-36,50
1365	EPO-ITA	29-nov-10	08-out-10	-40,92
1533	EPO-ITA	29-nov-10	10-nov-10	-39,83
48	EPO-JAR	24-jun-10	23-jun-09	-35,01
148	EPO-JAR	14-jun-10	29-set-09	-35,44
169	EPO-JAR	14-jun-10	21-out-09	-35,78
213	EPO-JAR	14-jun-10	17-nov-09	-35,22
214	EPO-JAR	14-jun-10	09-dez-09	-36,16
72	EPO-JAR	24-jun-10	13-jul-09	-35,67
116	EPO-JAR	24-jun-10	31-ago-09	-36,33



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
234	EPO-JAR	24-jun-10	19-jan-10	-37,41
251	EPO-JAR	24-jun-10	11-fev-09	-37,88
252	EPO-JAR	14-jun-10	13-mar-09	-35,43
253	EPO-JAR	24-jun-10	06-abr-09	-40,40
635	EPO-JAR	14-jun-10	25-fev-10	-35,89
789	EPO-JAR	24-jun-10	30-mar-10	-38,03
814	EPO-JAR	16-jun-10	30-abr-10	-38,04
1162	EPO-JAR	20-ago-10	06-jul-10	-38,64
1178	EPO-JAR	20-ago-10	06-ago-10	-35,41
1529	EPO-JAR	29-nov-10	10-nov-10	-41,49
170	EPO-NB2	14-jun-10	19-out-09	-37,53
215	EPO-NB2	14-jun-10	10-dez-09	-36,04
219	EPO-NB2	14-jun-10	19-nov-09	-35,75
232	EPO-NB2	4-mar-10	12-mar-09	-37,58
15	EPO-NB2	1-mar-09	14-mai-09	-33,00
40	EPO-NB2	1-mar-09	15-jun-09	-40,07
73	EPO-NB2	1-mar-09	17-jul-09	-35,58
120	EPO-NB2	1-mar-09	01-set-09	-33,18
143	EPO-NB2	1-mar-09	25-set-09	-37,96
220	EPO-NB2	14-jun-10	06-abr-09	-36,63
254	EPO-NB2	14-jun-10	12-fev-09	-35,01
625	EPO-NB2	4-mar-10	05-fev-10	-38,83
783	EPO-NB2	7-abr-10	30-mar-10	-38,06
1383	EPO-NB2	29-nov-10	29-set-10	-38,87
329	EPO-NB2	4-mar-10	21-jan-10	-37,51
804	EPO-NB2	16-jun-10	04-mai-10	-49,14
1180	EPO-NB2	20-ago-10	06-ago-10	-35,92
1535	EPO-NB2	29-nov-10	10-nov-10	-40,72
163	EPO-QL2	1-mar-09	15-out-09	-40,27
189	EPO-QL2	15-jun-10	07-dez-09	-38,09
11	EPO-QL2	1-mar-09	11-mai-09	-39,89
29	EPO-QL2	15-jun-10	09-jun-09	-38,24
55	EPO-QL2	1-mar-09	06-jul-09	-37,39
106	EPO-QL2	1-mar-09	24-ago-09	-33,75
133	EPO-QL2	1-mar-09	22-set-09	-35,07
255	EPO-QL2	15-jun-10	09-nov-09	-38,95
257	EPO-QL2	4-mar-10	12-jan-10	-38,08
258	EPO-QL2	21-jan-10	10-fev-09	-38,92
621	EPO-QL2	4-mar-10	08-fev-10	-40,35
797	EPO-QL2	7-abr-10	17-mar-10	-40,75
811	EPO-QL2	16-jun-10	27-abr-10	-39,15



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
879	EPO-QL2	17-jun-10	08-jun-10	-39,90
1174	EPO-QL2	20-ago-10	03-ago-10	-39,48
1384	EPO-QL2	29-nov-10	01-out-10	-42,56
1520	EPO-QL2	29-nov-10	03-nov-10	-44,37
47	EPO-QN	4-mar-10	23-jun-09	-39,39
152	EPO-QN	1-mar-09	02-out-09	-36,65
161	EPO-QN	1-mar-09	21-out-09	-38,62
259	EPO-QN	15-jun-10	09-dez-09	-37,73
14	EPO-QN	1-mar-09	15-mai-09	-37,02
62	EPO-QN	1-mar-09	08-jul-09	-38,21
117	EPO-QN	1-mar-09	31-ago-09	-35,27
260	EPO-QN	15-jun-10	23-nov-09	-37,31
261	EPO-QN	1-mar-09	06-abr-09	-37,40
262	EPO-QN	4-mar-10	13-mar-09	-39,58
263	EPO-QN	15-jun-10	11-fev-09	-35,94
328	EPO-QN	4-mar-10	21-jan-10	-39,62
634	EPO-QN	8-mar-10	26-fev-10	-34,94
787	EPO-QN	7-abr-10	30-mar-10	-40,53
1190	EPO-QN	29-nov-10	24-ago-10	-41,64
1367	EPO-QN	29-nov-10	08-out-10	-43,35
1523	EPO-QN	29-nov-10	08-nov-10	-43,00
826	EPO-QN	17-jun-10	30-abr-10	-40,30
1363	EPO-SB3	29-nov-10	08-out-10	-41,77
44	EPO-SBAT	5-mar-10	23-jun-09	-32,71
149	EPO-SBAT	1-mar-09	29-set-09	-34,22
188	EPO-SBAT	24-jun-10	20-out-09	-37,90
9	EPO-SBAT	1-mar-09	15-mai-09	-37,01
63	EPO-SBAT	1-mar-09	08-jul-09	-35,61
118	EPO-SBAT	1-mar-09	31-ago-09	-34,52
264	EPO-SBAT	4-mar-10	09-dez-09	-34,76
265	EPO-SBAT	5-mar-10	23-nov-09	-30,33
266	EPO-SBAT	21-jan-10	09-abr-09	-40,24
267	EPO-SBAT	4-mar-10	13-mar-09	-36,90
268	EPO-SBAT	15-jun-10	12-fev-09	-25,79
326	EPO-SBAT	5-mar-10	21-jan-10	-32,51
633	EPO-SBAT	8-mar-10	25-fev-10	-31,44
785	EPO-SBAT	7-abr-10	30-mar-10	-37,27
816	EPO-SBAT	16-jun-10	30-abr-10	-37,56
1177	EPO-SBAT	20-ago-10	06-ago-10	-37,01
1368	EPO-SBAT	29-nov-10	08-out-10	-42,88
1522	EPO-SBAT	29-nov-10	08-nov-10	-42,30



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
49	EPO-TAB	17-jun-10	23-jun-09	-33,32
174	EPO-TAB	15-jun-10	21-out-09	-34,67
3	EPO-TAB	17-jun-10	15-mai-09	-45,10
67	EPO-TAB	17-jun-10	08-jul-09	-32,95
113	EPO-TAB	17-jun-10	31-ago-09	-39,60
146	EPO-TAB	17-jun-10	29-set-09	-34,02
269	EPO-TAB	17-jun-10	09-dez-09	-33,78
270	EPO-TAB	15-jun-10	23-nov-09	-34,02
271	EPO-TAB	18-jun-10	06-abr-09	-45,93
272	EPO-TAB	17-jun-10	13-mar-09	-33,61
273	EPO-TAB	15-jun-10	11-fev-09	-33,67
300	EPO-TAB	15-jun-10	19-jan-10	-33,19
632	EPO-TAB	15-jun-10	25-fev-10	-33,70
781	EPO-TAB	17-jun-10	31-mar-10	-34,53
819	EPO-TAB	16-jun-10	30-abr-10	-34,66
1152	EPO-TAB	20-ago-10	06-jul-10	-39,15
1191	EPO-TAB	29-nov-10	24-ago-10	-38,57
1362	EPO-TAB	29-nov-10	07-out-10	-40,16
1528	EPO-TAB	29-nov-10	08-nov-10	-39,81
159	EPO-TAQ2	15-jun-10	13-out-09	-37,16
278	EPO-TAQ2	18-jun-10	08-dez-09	-41,44
2	EPO-TAQ2	15-jun-10	12-mai-09	-38,37
34	EPO-TAQ2	18-jun-10	10-jun-09	-37,57
60	EPO-TAQ2	18-jun-10	08-jul-09	-39,01
112	EPO-TAQ2	18-jun-10	31-ago-09	-39,44
140	EPO-TAQ2	17-jun-10	24-set-09	-35,74
274	EPO-TAQ2	17-jun-10	10-fev-09	-40,14
275	EPO-TAQ2	15-jun-10	19-jan-10	-38,40
277	EPO-TAQ2	21-jun-10	17-nov-09	-40,52
610	EPO-TAQ2	18-jun-10	09-fev-10	-40,49
822	EPO-TAQ2	16-jun-10	28-abr-10	-38,35
1166	EPO-TAQ2	20-ago-10	05-ago-10	-39,80
1372	EPO-TAQ2	29-nov-10	07-out-10	-43,92
1527	EPO-TAQ2	29-nov-10	08-nov-10	-44,88
799	EPO-TAQ2	17-jun-10	18-mar-10	-40,15
1158	EPO-TAQ2	20-ago-10	06-jul-10	-41,40
181	EPO-VP	18-jun-10	28-out-09	-34,84
282	EPO-VP	18-jun-10	12-nov-09	-35,46
309	EPO-VP	18-jun-10	20-jan-10	-34,70
6	EPO-VP	15-jun-10	13-mai-09	-33,45
6	EPO-VP	15-jun-10	13-mai-09	-33,45



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
27	EPO-VP	18-jun-10	08-jun-09	-32,61
54	EPO-VP	18-jun-10	07-jul-09	-32,65
102	EPO-VP	18-jun-10	19-ago-09	-34,31
126	EPO-VP	18-jun-10	21-set-09	-36,10
279	EPO-VP	18-jun-10	13-fev-09	-35,32
280	EPO-VP	18-jun-10	06-mar-09	-35,26
280	EPO-VP	18-jun-10	06-mar-09	-35,26
281	EPO-VP	18-jun-10	03-abr-09	-35,01
281	EPO-VP	18-jun-10	03-abr-09	-35,01
283	EPO-VP	18-jun-10	03-dez-09	-34,79
614	EPO-VP	18-jun-10	12-fev-10	-35,57
778	EPO-VP	18-jun-10	31-mar-10	-33,09
1374	EPO-VP	29-nov-10	06-out-10	-41,34
818	EPO-VP	16-jun-10	26-abr-10	-34,34
1153	EPO-VP	20-ago-10	07-jul-10	-34,92
1186	EPO-VP	20-ago-10	09-ago-10	-33,57
185	I8-05	18-jun-10	23-out-09	-35,80
18	I8-05	18-jun-10	13-mai-09	-33,72
25	I8-05	18-jun-10	08-jun-09	-33,32
57	I8-05	18-jun-10	07-jul-09	-33,77
100	I8-05	18-jun-10	18-ago-09	-36,75
130	I8-05	18-jun-10	21-set-09	-35,02
243	I8-05	18-jun-10	20-jan-10	-35,93
284	I8-05	18-jun-10	13-fev-09	-35,51
285	I8-05	18-jun-10	06-mar-09	-31,80
286	I8-05	18-jun-10	20-abr-09	-36,17
287	I8-05	18-jun-10	12-nov-09	-38,26
288	I8-05	18-jun-10	03-dez-09	-36,06
617	I8-05	18-jun-10	12-fev-10	-35,99
790	I8-05	18-jun-10	26-mar-10	-33,68
823	I8-05	16-jun-10	26-abr-10	-34,10
1163	I8-05	20-ago-10	05-jul-10	-36,98
1188	I8-05	20-ago-10	09-ago-10	-36,39
1378	I8-05	29-nov-10	06-out-10	-36,81
1538	I8-05	3-dez-10	12-nov-10	-45,33
43	IT-01	18-jun-10	18-jun-09	-37,19
70	IT-01	18-jun-10	14-jul-09	-38,21
151	IT-01	18-jun-10	02-out-09	-39,73
191	IT-01	24-jun-10	21-out-09	-38,24
292	IT-01	15-jun-10	16-nov-09	-37,84
293	IT-01	15-jun-10	10-dez-09	-37,86



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
613	IT-01	15-jun-10	09-fev-10	-38,13
782	IT-01	15-jun-10	31-mar-10	-37,67
813	IT-01	16-jun-10	28-abr-10	-38,51
22	IT-01	15-jun-10	14-mai-09	-37,79
124	IT-01	18-jun-10	01-set-09	-38,61
289	IT-01	15-jun-10	12-fev-09	-31,79
290	IT-01	18-jun-10	12-mar-09	-39,16
291	IT-01	18-jun-10	08-abr-09	-38,21
323	IT-01	15-jun-10	11-jan-10	-38,62
1160	IT-01	20-ago-10	12-jul-10	-40,30
1184	IT-01	20-ago-10	11-ago-10	-38,99
1532	IT-01	29-nov-10	10-nov-10	-43,82
173	MS-05	21-jun-10	20-out-09	-38,79
297	MS-05	15-jun-10	10-dez-09	-39,38
810	MS-05	16-jun-10	04-mai-10	-39,10
8	MS-05	15-jun-10	14-mai-09	-39,12
38	MS-05	15-jun-10	15-jun-09	-39,23
65	MS-05	21-jun-10	13-jul-09	-39,25
99	MS-05	21-jun-10	13-abr-09	-39,06
123	MS-05	15-jun-10	01-set-09	-38,75
145	MS-05	21-jun-10	25-set-09	-38,30
294	MS-05	30-jun-10	12-fev-09	-38,23
295	MS-05	15-jun-10	12-mar-09	-39,23
296	MS-05	7-abr-10	16-nov-09	-38,82
320	MS-05	15-jun-10	11-jan-10	-39,21
636	MS-05	15-jun-10	26-fev-10	-39,25
777	MS-05	21-jun-10	31-mar-10	-37,90
883	MS-05	17-jun-10	14-jun-10	-40,38
1157	MS-05	20-ago-10	12-jul-10	-40,18
1183	MS-05	20-ago-10	11-ago-10	-39,45
1370	MS-05	29-nov-10	08-out-10	-46,08
1534	MS-05	29-nov-10	10-nov-10	-42,97
156	NC-04	1-mar-09	13-out-09	-38,99
301	NC-04	21-jun-10	10-nov-09	-39,27
302	NC-04	21-jun-10	08-dez-09	-39,14
318	NC-04	16-jun-10	08-jan-10	-40,61
808	NC-04	16-jun-10	28-abr-10	-40,03
882	NC-04	17-jun-10	08-jun-10	-41,27
4	NC-04	30-jun-10	12-mai-09	-39,10
35	NC-04	16-jun-10	10-jun-09	-39,65
59	NC-04	21-jun-10	08-jul-09	-41,35



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^{2}H/1H$ (/1000)
108	NC-04	21-jun-10	27-ago-09	-41,32
138	NC-04	21-jun-10	24-set-09	-39,40
298	NC-04	16-jun-10	10-fev-09	-39,70
623	NC-04	21-jun-10	08-fev-10	-38,17
794	NC-04	21-jun-10	16-mar-10	-40,00
1169	NC-04	20-ago-10	05-ago-10	-40,03
1373	NC-04	29-nov-10	07-out-10	-46,96
1524	NC-04	29-nov-10	08-nov-10	-44,13
42	SB-03	16-jun-10	18-jun-09	-36,96
171	SB-03	21-jun-10	19-out-09	-37,78
306	SB-03	21-jun-10	19-nov-09	-41,17
307	SB-03	21-jun-10	10-dez-09	-38,20
327	SB-03	21-jun-10	21-jan-10	-36,38
803	SB-03	16-jun-10	05-mai-10	-38,16
885	SB-03	17-jun-10	14-jun-10	-41,81
17	SB-03	16-jun-10	14-mai-09	-37,99
69	SB-03	21-jun-10	13-jul-09	-38,66
122	SB-03	21-jun-10	01-set-09	-37,26
135	SB-03	21-jun-10	22-set-09	-37,45
303	SB-03	8-mar-10	12-fev-09	-37,27
304	SB-03	21-jun-10	12-mar-09	-37,54
305	SB-03	21-jun-10	13-abr-09	-39,68
626	SB-03	21-jun-10	05-fev-10	-36,96
780	SB-03	21-jun-10	31-mar-10	-36,49
1165	SB-03	20-ago-10	12-jul-10	-38,69
1182	SB-03	20-ago-10	10-ago-10	-40,09
1536	SB-03	29-nov-10	10-nov-10	-42,80
162	SO-18	16-jun-10	15-out-09	-43,97
311	SO-18	16-jun-10	09-nov-09	-43,95
312	SO-18	16-jun-10	07-dez-09	-43,86
620	SO-18	16-jun-10	08-fev-10	-43,86
793	SO-18	21-jun-10	16-mar-10	-41,91
817	SO-18	16-jun-10	27-abr-10	-43,15
878	SO-18	17-jun-10	08-jun-10	-44,71
21	SO-18	16-jun-10	11-mai-09	-42,48
21	SO-18	16-jun-10	11-mai-09	-42,48
33	SO-18	16-jun-10	09-jun-09	-43,91
50	SO-18	21-jun-10	06-jul-09	-42,97
107	SO-18	21-jun-10	24-ago-09	-44,64
134	SO-18	21-jun-10	22-set-09	-42,97
308	SO-18	16-jun-10	10-fev-09	-44,24



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de Coleta	$\delta^2\text{H}/1\text{H}$ (/1000)
308	SO-18	16-jun-10	10-fev-09	-44,24
321	SO-18	16-jun-10	08-jan-10	-45,12
1171	SO-18	20-ago-10	03-ago-10	-43,36
1380	SO-18	29-nov-10	01-out-10	-47,27
1382	SO-18	29-nov-10	29-set-10	-40,12
1519	SO-18	29-nov-10	03-nov-10	-47,90
186	SS-18	24-jun-10	19-out-09	-35,77
12	SS-18	21-jun-10	14-mai-09	-37,21
39	SS-18	21-jun-10	15-jun-09	-36,01
75	SS-18	21-jun-10	17-jul-09	-34,42
121	SS-18	21-jun-10	01-set-09	-34,77
144	SS-18	21-jun-10	25-set-09	-34,79
313	SS-18	21-jun-10	12-fev-09	-35,51
314	SS-18	21-jun-10	12-mar-09	-36,20
315	SS-18	21-jun-10	17-abr-09	-35,42
316	SS-18	24-jun-10	16-nov-09	-36,67
317	SS-18	21-jun-10	10-dez-09	-35,61
319	SS-18	21-jun-10	11-jan-10	-33,42
627	SS-18	24-jun-10	05-fev-10	-38,28
786	SS-18	21-jun-10	30-mar-10	-34,92
806	SS-18	16-jun-10	04-mai-10	-34,82
884	SS-18	17-jun-10	14-jun-10	-36,13
1181	SS-18	20-ago-10	10-ago-10	-34,29
1530	SS-18	29-nov-10	10-nov-10	-41,33



### 7.2.1.3 RESULTADOS DO DESVIO DE RAZÃO ISOTÓPICA DE OXIGÊNIO - $\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (/1000)
7	AQ-3A	1-jan-09	13-mai-09	-5,55
26	AQ-3A	9-jan-10	08-jun-09	-5,37
56	AQ-3A	1-jan-09	07-jul-09	-5,90
101	AQ-3A	1-jan-09	18-ago-09	-6,04
129	AQ-3A	1-jan-09	21-set-09	-5,74
218	AQ-3A	1-jan-09	03-abr-09	-5,49
310	AQ-3A	21-fev-10	20-jan-10	-5,49
616	AQ-3A	21-fev-10	12-fev-10	-5,42
792	AQ-3A	24-ago-10	26-mar-10	-5,47
821	AQ-3A	24-ago-10	26-abr-10	-5,51
1164	AQ-3A	27-ago-10	05-jul-10	-5,86
1185	AQ-3A	27-ago-10	09-ago-10	-5,56
1375	AQ-3A	5-nov-10	06-out-10	-5,78
184	AQ-3A	9-jan-10	23-out-09	-5,72
192	AQ-3A	9-jan-10	03-dez-09	-5,62
193	AQ-3A	9-jan-10	12-nov-09	-5,75
216	AQ-3A	11-jan-10	13-fev-09	-5,61
217	AQ-3A	21-fev-10	06-mar-09	-4,97
217	AQ-3A	21-fev-10	06-mar-09	-4,97
10	BA-03	1-jan-09	11-mai-09	-6,59
30	BA-03	1-jan-09	09-jun-09	-7,12
51	BA-03	1-jan-09	06-jul-09	-7,00
110	BA-03	1-jan-09	27-ago-09	-7,02
141	BA-03	1-jan-09	24-set-09	-7,01
221	BA-03	1-jan-09	10-fev-09	-6,44
223	BA-03	1-jan-09	15-abr-09	-6,66
322	BA-03	11-jan-10	08-jan-10	-6,64
618	BA-03	21-fev-10	08-fev-10	-6,50
776	BA-03	24-ago-10	17-mar-10	-6,77
1379	BA-03	5-nov-10	01-out-10	-6,93
1521	BA-03	5-nov-10	03-nov-10	-7,01
165	BA-03	1-jan-09	15-out-09	-6,81
194	BA-03	9-jan-10	09-nov-09	-6,52
195	BA-03	9-jan-10	07-dez-09	-6,55
222	BA-03	1-jan-09	09-mar-09	-6,67
820	BA-03	24-ago-10	27-abr-10	-6,44
880	BA-03	24-ago-10	08-jun-10	-6,45
1172	BA-03	27-ago-10	03-ago-10	-6,66
68	BUV	1-jan-09	13-jul-09	-5,54



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/16O$ (/1000)
114	BUV	1-jan-09	31-ago-09	-5,70
224	BUV	1-jan-09	06-abr-09	-5,45
631	BUV	13-mar-10	25-fev-10	-5,28
775	BUV	24-ago-10	30-mar-10	-5,40
809	BUV	24-ago-10	30-abr-10	-5,36
1154	BUV	24-ago-10	06-jul-10	-5,30
1176	BUV	27-ago-10	06-ago-10	-5,37
1371	BUV	5-nov-10	08-out-10	-5,43
45	BUV	9-jan-10	23-jun-09	-5,37
153	BUV	1-jan-09	02-out-09	-5,65
190	BUV	9-jan-10	20-out-09	-5,28
196	BUV	9-jan-10	17-nov-09	-5,32
197	BUV	9-jan-10	09-dez-09	-5,34
225	BUV	21-fev-10	19-jan-10	-5,31
5	CAU4	1-jan-09	13-mai-09	-5,94
24	CAU4	1-jan-09	08-jun-09	-6,30
104	CAU4	1-jan-09	19-ago-09	-6,39
128	CAU4	1-jan-09	21-set-09	-6,09
226	CAU4	1-jan-09	20-abr-09	-5,81
615	CAU4	21-fev-10	12-fev-10	-5,96
1377	CAU4	5-nov-10	06-out-10	-6,45
61	CAU4	1-jan-09	07-jul-09	-6,20
172	CAU4	9-jan-10	23-out-09	-5,83
198	CAU4	9-jan-10	12-nov-09	-5,77
199	CAU4	9-jan-10	03-dez-09	-5,89
227	CAU4	21-fev-10	06-mar-09	-5,04
228	CAU4	21-fev-10	13-fev-09	-5,85
256	CAU4	21-fev-10	20-jan-10	-5,87
779	CAU4	24-ago-10	31-mar-10	-6,11
812	CAU4	24-ago-10	26-abr-10	-5,81
1161	CAU4	27-ago-10	07-jul-10	-6,19
1189	CAU4	27-ago-10	09-ago-10	-5,88
23	EPO-BE1	1-jan-09	11-mai-09	-5,72
31	EPO-BE1	9-jan-10	09-jun-09	-5,91
52	EPO-BE1	1-jan-09	06-jul-09	-6,18
125	EPO-BE1	1-jan-09	01-set-09	-5,91
231	EPO-BE1	1-jan-09	22-abr-09	-5,84
392	EPO-BE1	21-fev-10	28-jan-10	-5,68
796	EPO-BE1	24-ago-10	17-mar-10	-5,67
896	EPO-BE1	24-ago-10	23-jun-10	-5,62
1170	EPO-BE1	27-ago-10	03-ago-10	-5,96



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/16O$ (/1000)
1518	EPO-BE1	5-nov-10	03-nov-10	-6,29
154	EPO-BE1	9-jan-10	06-out-09	-5,84
200	EPO-BE1	9-jan-10	07-dez-09	-5,80
229	EPO-BE1	1-jan-09	19-fev-09	-5,84
230	EPO-BE1	1-jan-09	09-mar-09	-6,02
624	EPO-BE1	21-fev-10	08-fev-10	-5,74
802	EPO-BE1	24-ago-10	05-mai-10	-5,60
13	EPO-BON	1-jan-09	12-mai-09	-5,65
37	EPO-BON	9-jan-10	10-jun-09	-5,57
64	EPO-BON	1-jan-09	08-jul-09	-5,70
109	EPO-BON	1-jan-09	27-ago-09	-5,93
139	EPO-BON	1-jan-09	24-set-09	-5,84
324	EPO-BON	11-jan-10	08-jan-10	-5,58
612	EPO-BON	21-fev-10	09-fev-10	-5,60
798	EPO-BON	24-ago-10	18-mar-10	-5,52
807	EPO-BON	24-ago-10	28-abr-10	-5,40
1159	EPO-BON	24-ago-10	06-jul-10	-5,39
1168	EPO-BON	27-ago-10	05-ago-10	-5,65
1369	EPO-BON	5-nov-10	07-out-10	-5,48
157	EPO-BON	1-jan-09	13-out-09	-5,85
201	EPO-BON	9-jan-10	10-nov-09	-5,56
202	EPO-BON	9-jan-10	08-dez-09	-5,55
233	EPO-BON	1-jan-09	10-fev-09	-5,38
32	EPO-CAT2	1-jan-09	09-jun-09	-6,54
58	EPO-CAT2	1-jan-09	06-jul-09	-6,28
105	EPO-CAT2	1-jan-09	24-ago-09	-6,39
131	EPO-CAT2	1-jan-09	22-set-09	-6,26
236	EPO-CAT2	1-jan-09	10-fev-09	-6,07
237	EPO-CAT2	1-jan-09	12-mar-09	-6,01
238	EPO-CAT2	1-jan-09	15-abr-09	-6,07
239	EPO-CAT2	1-jan-09	11-mai-09	-6,08
244	EPO-CAT2	21-fev-10	12-jan-10	-6,07
619	EPO-CAT2	21-fev-10	08-fev-10	-6,02
795	EPO-CAT2	24-ago-10	16-mar-10	-5,98
825	EPO-CAT2	24-ago-10	27-abr-10	-6,02
881	EPO-CAT2	24-ago-10	08-jun-10	-5,95
1173	EPO-CAT2	27-ago-10	03-ago-10	-6,07
1385	EPO-CAT2	5-nov-10	01-out-10	-6,78
1517	EPO-CAT2	5-nov-10	03-nov-10	-6,73
164	EPO-CAT2	1-jan-09	15-out-09	-6,41
203	EPO-CAT2	9-jan-10	09-nov-09	-6,12



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/16O$ (/1000)
204	EPO-CAT2	9-jan-10	07-dez-09	-6,11
16	EPO-CATO	1-jan-09	12-mai-09	-6,04
36	EPO-CATO	9-jan-10	10-jun-09	-6,38
71	EPO-CATO	1-jan-09	14-jul-09	-6,41
111	EPO-CATO	1-jan-09	31-ago-09	-6,50
137	EPO-CATO	1-jan-09	24-set-09	-6,47
240	EPO-CATO	1-jan-09	10-fev-09	-6,16
241	EPO-CATO	21-fev-10	11-mar-09	-5,99
352	EPO-CATO	21-fev-10	25-jan-10	-6,09
611	EPO-CATO	21-fev-10	09-fev-10	-6,03
897	EPO-CATO	24-ago-10	23-jun-10	-6,05
1376	EPO-CATO	5-nov-10	07-out-10	-6,57
158	EPO-CATO	1-jan-09	13-out-09	-6,39
205	EPO-CATO	9-jan-10	17-nov-09	-6,28
206	EPO-CATO	9-jan-10	08-dez-09	-6,27
800	EPO-CATO	24-ago-10	18-mar-10	-6,12
801	EPO-CATO	24-ago-10	05-mai-10	-6,10
1167	EPO-CATO	27-ago-10	05-ago-10	-6,30
20	EPO-CG2	1-jan-09	13-mai-09	-5,36
28	EPO-CG2	9-jan-10	08-jun-09	-5,48
53	EPO-CG2	1-jan-09	07-jul-09	-5,75
103	EPO-CG2	1-jan-09	19-ago-09	-5,79
127	EPO-CG2	1-jan-09	21-set-09	-5,62
242	EPO-CG2	1-jan-09	20-abr-09	-5,51
299	EPO-CG2	21-fev-10	20-jan-10	-5,41
622	EPO-CG2	21-fev-10	12-fev-10	-5,40
791	EPO-CG2	24-ago-10	26-mar-10	-5,51
824	EPO-CG2	24-ago-10	26-abr-10	-5,44
1155	EPO-CG2	24-ago-10	07-jul-10	-5,39
1187	EPO-CG2	27-ago-10	09-ago-10	-5,47
1366	EPO-CG2	5-nov-10	06-out-10	-5,30
183	EPO-CG2	9-jan-10	23-out-09	-5,44
207	EPO-CG2	9-jan-10	12-nov-09	-5,37
208	EPO-CG2	9-jan-10	03-dez-09	-5,41
19	EPO-CHA2	1-jan-09	14-mai-09	-5,73
41	EPO-CHA2	1-jan-09	15-jun-09	-6,05
74	EPO-CHA2	1-jan-09	17-jul-09	-5,87
119	EPO-CHA2	1-jan-09	01-set-09	-5,91
142	EPO-CHA2	1-jan-09	25-set-09	-5,96
245	EPO-CHA2	21-fev-10	12-fev-09	-4,37
246	EPO-CHA2	21-fev-10	12-mar-09	-5,71



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/16O$ (/1000)
247	EPO-CHA2	1-jan-09	08-abr-09	-5,84
187	EPO-CHA2	9-jan-10	19-out-09	-5,62
209	EPO-CHA2	9-jan-10	19-nov-09	-5,68
210	EPO-CHA2	9-jan-10	09-dez-09	-5,72
325	EPO-CHA2	21-fev-10	21-jan-10	-5,68
628	EPO-CHA2	21-fev-10	05-fev-10	-5,64
788	EPO-CHA2	24-ago-10	30-mar-10	-5,66
805	EPO-CHA2	24-ago-10	04-mai-10	-5,56
1179	EPO-CHA2	27-ago-10	06-ago-10	-5,58
1381	EPO-CHA2	5-nov-10	29-set-10	-6,35
1364	EPO-IT1	5-nov-10	07-out-10	-5,58
46	EPO-ITA	9-jan-10	23-jun-09	-5,41
182	EPO-ITA	9-jan-10	20-out-09	-5,39
211	EPO-ITA	9-jan-10	17-nov-09	-5,41
212	EPO-ITA	9-jan-10	09-dez-09	-5,44
66	EPO-ITA	1-jan-09	13-jul-09	-5,72
115	EPO-ITA	1-jan-09	31-ago-09	-5,71
147	EPO-ITA	1-jan-09	29-set-09	-5,69
235	EPO-ITA	21-fev-10	19-jan-10	-5,40
248	EPO-ITA	1-jan-09	11-fev-09	-5,18
249	EPO-ITA	21-fev-10	13-mar-09	-5,34
250	EPO-ITA	1-jan-09	06-abr-09	-5,41
637	EPO-ITA	13-mar-10	25-fev-10	-5,32
784	EPO-ITA	24-ago-10	30-mar-10	-5,40
815	EPO-ITA	24-ago-10	30-abr-10	-5,36
1156	EPO-ITA	24-ago-10	06-jul-10	-5,27
1175	EPO-ITA	27-ago-10	06-ago-10	-5,42
1365	EPO-ITA	5-nov-10	08-out-10	-5,20
48	EPO-JAR	1-jan-09	23-jun-09	-5,61
148	EPO-JAR	9-jan-10	29-set-09	-5,44
169	EPO-JAR	9-jan-10	21-out-09	-5,37
213	EPO-JAR	9-jan-10	17-nov-09	-5,40
214	EPO-JAR	9-jan-10	09-dez-09	-5,39
72	EPO-JAR	1-jan-09	13-jul-09	-5,58
116	EPO-JAR	1-jan-09	31-ago-09	-5,60
234	EPO-JAR	21-fev-10	19-jan-10	-5,41
251	EPO-JAR	21-fev-10	11-fev-09	-5,45
252	EPO-JAR	1-jan-09	13-mar-09	-5,40
253	EPO-JAR	1-jan-09	06-abr-09	-5,53
635	EPO-JAR	13-mar-10	25-fev-10	-5,27
789	EPO-JAR	24-ago-10	30-mar-10	-5,45



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/16O$ (/1000)
814	EPO-JAR	24-ago-10	30-abr-10	-5,35
1162	EPO-JAR	27-ago-10	06-jul-10	-5,54
1178	EPO-JAR	27-ago-10	06-ago-10	-5,35
170	EPO-NB2	9-jan-10	19-out-09	-5,73
215	EPO-NB2	9-jan-10	10-dez-09	-5,76
219	EPO-NB2	9-jan-10	19-nov-09	-5,72
232	EPO-NB2	21-fev-10	12-mar-09	-5,68
15	EPO-NB2	1-jan-09	14-mai-09	-5,57
40	EPO-NB2	1-jan-09	15-jun-09	-6,09
73	EPO-NB2	1-jan-09	17-jul-09	-5,94
120	EPO-NB2	1-jan-09	01-set-09	-5,84
143	EPO-NB2	1-jan-09	25-set-09	-6,01
220	EPO-NB2	1-jan-09	06-abr-09	-5,86
254	EPO-NB2	1-jan-09	12-fev-09	-5,09
625	EPO-NB2	21-fev-10	05-fev-10	-5,69
783	EPO-NB2	24-ago-10	30-mar-10	-5,74
1383	EPO-NB2	5-nov-10	29-set-10	-6,20
329	EPO-NB2	21-fev-10	21-jan-10	-5,63
804	EPO-NB2	24-ago-10	04-mai-10	-5,56
1180	EPO-NB2	27-ago-10	06-ago-10	-5,65
163	EPO-QL2	1-jan-09	15-out-09	-6,28
189	EPO-QL2	9-jan-10	07-dez-09	-5,99
11	EPO-QL2	1-jan-09	11-mai-09	-6,10
29	EPO-QL2	9-jan-10	09-jun-09	-6,04
55	EPO-QL2	1-jan-09	06-jul-09	-6,20
106	EPO-QL2	21-fev-10	24-ago-09	-6,01
133	EPO-QL2	1-jan-09	22-set-09	-6,37
255	EPO-QL2	9-jan-10	09-nov-09	-6,15
257	EPO-QL2	21-fev-10	12-jan-10	-6,02
258	EPO-QL2	1-jan-09	10-fev-09	-5,96
621	EPO-QL2	21-fev-10	08-fev-10	-6,05
797	EPO-QL2	24-ago-10	17-mar-10	-5,88
811	EPO-QL2	24-ago-10	27-abr-10	-5,76
879	EPO-QL2	24-ago-10	08-jun-10	-5,86
1174	EPO-QL2	27-ago-10	03-ago-10	-5,91
1384	EPO-QL2	5-nov-10	01-out-10	-6,66
1520	EPO-QL2	5-nov-10	03-nov-10	-6,69
47	EPO-QN	9-jan-10	23-jun-09	-5,73
152	EPO-QN	1-jan-09	02-out-09	-6,15
161	EPO-QN	1-jan-09	21-out-09	-1,87
259	EPO-QN	9-jan-10	09-dez-09	-5,75



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/16O$ (/1000)
14	EPO-QN	1-jan-09	15-mai-09	-5,43
62	EPO-QN	1-jan-09	08-jul-09	-6,21
117	EPO-QN	1-jan-09	31-ago-09	-6,14
260	EPO-QN	9-jan-10	23-nov-09	-5,80
261	EPO-QN	1-jan-09	06-abr-09	-5,85
262	EPO-QN	1-jan-09	13-mar-09	-5,79
263	EPO-QN	1-jan-09	11-fev-09	-5,15
328	EPO-QN	21-fev-10	21-jan-10	-5,75
634	EPO-QN	13-mar-10	26-fev-10	-5,69
787	EPO-QN	24-ago-10	30-mar-10	-5,77
1190	EPO-QN	27-ago-10	24-ago-10	-5,79
1367	EPO-QN	5-nov-10	08-out-10	-5,65
826	EPO-QN	24-ago-10	30-abr-10	-5,80
1363	EPO-SB3	5-nov-10	08-out-10	-5,72
44	EPO-SBAT	9-jan-10	23-jun-09	-5,65
149	EPO-SBAT	1-jan-09	29-set-09	-5,92
188	EPO-SBAT	9-jan-10	20-out-09	-5,68
9	EPO-SBAT	1-jan-09	15-mai-09	-5,49
63	EPO-SBAT	1-jan-09	08-jul-09	-5,84
118	EPO-SBAT	1-jan-09	31-ago-09	-5,94
264	EPO-SBAT	9-jan-10	09-dez-09	-5,69
265	EPO-SBAT	9-jan-10	23-nov-09	-5,63
266	EPO-SBAT	1-jan-09	09-abr-09	-5,85
267	EPO-SBAT	21-fev-10	13-mar-09	-5,68
268	EPO-SBAT	21-fev-10	12-fev-09	-3,27
326	EPO-SBAT	21-fev-10	21-jan-10	-5,68
633	EPO-SBAT	13-mar-10	25-fev-10	-5,53
785	EPO-SBAT	24-ago-10	30-mar-10	-5,60
816	EPO-SBAT	24-ago-10	30-abr-10	-7,82
1177	EPO-SBAT	27-ago-10	06-ago-10	-5,57
1368	EPO-SBAT	5-nov-10	08-out-10	-5,56
49	EPO-TAB	1-jan-09	23-jun-09	-5,40
174	EPO-TAB	9-jan-10	21-out-09	-5,22
3	EPO-TAB	1-jan-09	15-mai-09	-5,14
67	EPO-TAB	1-jan-09	08-jul-09	-5,28
113	EPO-TAB	1-jan-09	31-ago-09	-5,45
146	EPO-TAB	1-jan-09	29-set-09	-5,39
269	EPO-TAB	9-jan-10	09-dez-09	-5,06
270	EPO-TAB	9-jan-10	23-nov-09	-5,20
271	EPO-TAB	1-jan-09	06-abr-09	-5,24
272	EPO-TAB	21-fev-10	13-mar-09	-4,95



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/16O$ (/1000)
273	EPO-TAB	21-fev-10	11-fev-09	-4,99
300	EPO-TAB	21-fev-10	19-jan-10	-4,83
632	EPO-TAB	13-mar-10	25-fev-10	-5,00
781	EPO-TAB	24-ago-10	31-mar-10	-5,17
819	EPO-TAB	24-ago-10	30-abr-10	-5,13
1152	EPO-TAB	24-ago-10	06-jul-10	-5,11
1191	EPO-TAB	27-ago-10	24-ago-10	-5,08
1362	EPO-TAB	5-nov-10	07-out-10	-4,96
159	EPO-TAQ2	1-jan-09	13-out-09	-6,06
278	EPO-TAQ2	9-jan-10	08-dez-09	-5,88
2	EPO-TAQ2	1-jan-09	12-mai-09	-5,56
34	EPO-TAQ2	9-jan-10	10-jun-09	-5,84
60	EPO-TAQ2	1-jan-09	08-jul-09	-6,05
112	EPO-TAQ2	1-jan-09	31-ago-09	-6,20
140	EPO-TAQ2	1-jan-09	24-set-09	-6,16
274	EPO-TAQ2	1-jan-09	10-fev-09	-5,87
275	EPO-TAQ2	21-fev-10	19-jan-10	-5,90
277	EPO-TAQ2	9-jan-10	17-nov-09	-5,79
610	EPO-TAQ2	21-fev-10	09-fev-10	-5,96
822	EPO-TAQ2	24-ago-10	28-abr-10	-5,86
1166	EPO-TAQ2	27-ago-10	05-ago-10	-5,98
1372	EPO-TAQ2	5-nov-10	07-out-10	-5,90
799	EPO-TAQ2	24-ago-10	18-mar-10	-5,79
1158	EPO-TAQ2	24-ago-10	06-jul-10	-5,61
181	EPO-VP	9-jan-10	28-out-09	-5,19
282	EPO-VP	9-jan-10	12-nov-09	-5,19
309	EPO-VP	21-fev-10	20-jan-10	-4,57
6	EPO-VP	1-jan-09	13-mai-09	-5,30
6	EPO-VP	1-jan-09	13-mai-09	-5,30
27	EPO-VP	9-jan-10	08-jun-09	-5,19
54	EPO-VP	1-jan-09	07-jul-09	-5,37
102	EPO-VP	1-jan-09	19-ago-09	-5,53
126	EPO-VP	1-jan-09	21-set-09	-5,31
279	EPO-VP	21-fev-10	13-fev-09	-5,05
280	EPO-VP	21-fev-10	06-mar-09	-5,08
280	EPO-VP	21-fev-10	06-mar-09	-5,08
281	EPO-VP	1-jan-09	03-abr-09	-5,30
281	EPO-VP	1-jan-09	03-abr-09	-5,30
283	EPO-VP	9-jan-10	03-dez-09	-5,09
614	EPO-VP	21-fev-10	12-fev-10	-5,22
778	EPO-VP	24-ago-10	31-mar-10	-5,39



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/16O$ (/1000)
1374	EPO-VP	5-nov-10	06-out-10	-5,28
818	EPO-VP	24-ago-10	26-abr-10	-5,14
1153	EPO-VP	24-ago-10	07-jul-10	-5,05
1186	EPO-VP	27-ago-10	09-ago-10	-5,21
185	I8-05	9-jan-10	23-out-09	-5,13
18	I8-05	1-jan-09	13-mai-09	-5,26
25	I8-05	1-jan-09	08-jun-09	-5,47
57	I8-05	1-jan-09	07-jul-09	-5,27
100	I8-05	1-jan-09	18-ago-09	-5,42
130	I8-05	1-jan-09	21-set-09	-5,26
243	I8-05	21-fev-10	20-jan-10	-5,40
284	I8-05	21-fev-10	13-fev-09	-5,22
285	I8-05	21-fev-10	06-mar-09	-3,92
286	I8-05	11-jan-10	20-abr-09	-5,76
287	I8-05	9-jan-10	12-nov-09	-5,29
288	I8-05	9-jan-10	03-dez-09	-5,17
617	I8-05	21-fev-10	12-fev-10	-5,44
790	I8-05	24-ago-10	26-mar-10	-5,24
823	I8-05	24-ago-10	26-abr-10	-5,18
1163	I8-05	27-ago-10	05-jul-10	-5,28
1188	I8-05	27-ago-10	09-ago-10	-5,17
1378	I8-05	5-nov-10	06-out-10	-5,83
43	IT-01	9-jan-10	18-jun-09	-5,73
70	IT-01	1-jan-09	14-jul-09	-6,11
151	IT-01	1-jan-09	02-out-09	-6,11
191	IT-01	9-jan-10	21-out-09	-5,70
292	IT-01	9-jan-10	16-nov-09	-5,81
293	IT-01	9-jan-10	10-dez-09	-5,91
613	IT-01	21-fev-10	09-fev-10	-5,98
782	IT-01	24-ago-10	31-mar-10	-5,94
813	IT-01	24-ago-10	28-abr-10	-5,66
22	IT-01	1-jan-09	14-mai-09	-5,81
124	IT-01	1-jan-09	01-set-09	-5,85
289	IT-01	21-fev-10	12-fev-09	-4,44
290	IT-01	21-fev-10	12-mar-09	-6,00
291	IT-01	1-jan-09	08-abr-09	-5,79
323	IT-01	11-jan-10	11-jan-10	-5,83
1160	IT-01	24-ago-10	12-jul-10	-5,72
1184	IT-01	27-ago-10	11-ago-10	-5,74
173	MS-05	9-jan-10	20-out-09	-5,91
297	MS-05	9-jan-10	10-dez-09	-5,92



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/^{16}O$ (/1000)
810	MS-05	24-ago-10	04-mai-10	-5,98
8	MS-05	1-jan-09	14-mai-09	-5,84
38	MS-05	9-jan-10	15-jun-09	-5,88
65	MS-05	1-jan-09	13-jul-09	-6,32
99	MS-05	1-jan-09	13-abr-09	-6,05
123	MS-05	1-jan-09	01-set-09	-6,20
145	MS-05	1-jan-09	25-set-09	-6,41
294	MS-05	21-fev-10	12-fev-09	-6,11
295	MS-05	1-jan-09	12-mar-09	-6,12
296	MS-05	9-jan-10	16-nov-09	-5,98
320	MS-05	11-jan-10	11-jan-10	-6,09
636	MS-05	13-mar-10	26-fev-10	-5,91
777	MS-05	24-ago-10	31-mar-10	-6,28
883	MS-05	24-ago-10	14-jun-10	-5,86
1157	MS-05	24-ago-10	12-jul-10	-5,78
1183	MS-05	27-ago-10	11-ago-10	-5,96
1370	MS-05	5-nov-10	08-out-10	-5,94
156	NC-04	1-jan-09	13-out-09	-6,57
301	NC-04	9-jan-10	10-nov-09	-6,12
302	NC-04	11-jan-10	08-dez-09	-6,30
318	NC-04	11-jan-10	08-jan-10	-6,33
808	NC-04	24-ago-10	28-abr-10	-6,13
882	NC-04	24-ago-10	08-jun-10	-6,08
4	NC-04	1-jan-09	12-mai-09	-6,34
35	NC-04	9-jan-10	10-jun-09	-6,08
59	NC-04	1-jan-09	08-jul-09	-6,25
108	NC-04	1-jan-09	27-ago-09	-6,62
138	NC-04	1-jan-09	24-set-09	-6,64
298	NC-04	9-jan-10	10-fev-09	-6,09
623	NC-04	21-fev-10	08-fev-10	-6,30
794	NC-04	24-ago-10	16-mar-10	-6,32
1169	NC-04	27-ago-10	05-ago-10	-6,28
1373	NC-04	5-nov-10	07-out-10	-6,30
42	SB-03	11-jan-10	18-jun-09	-5,98
171	SB-03	11-jan-10	19-out-09	-6,08
306	SB-03	11-jan-10	19-nov-09	-6,04
307	SB-03	11-jan-10	10-dez-09	-6,11
327	SB-03	21-fev-10	21-jan-10	-5,85
803	SB-03	24-ago-10	05-mai-10	-5,90
885	SB-03	24-ago-10	14-jun-10	-5,78
17	SB-03	1-jan-09	14-mai-09	-6,05



Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}O/16O$ (/1000)
69	SB-03	1-jan-09	13-jul-09	-6,15
122	SB-03	1-jan-09	01-set-09	-6,13
135	SB-03	1-jan-09	22-set-09	-6,34
303	SB-03	21-fev-10	12-fev-09	-5,54
304	SB-03	21-fev-10	12-mar-09	-5,90
305	SB-03	1-jan-09	13-abr-09	-6,02
626	SB-03	21-fev-10	05-fev-10	-6,07
780	SB-03	24-ago-10	31-mar-10	-6,05
1165	SB-03	27-ago-10	12-jul-10	-6,11
1182	SB-03	27-ago-10	10-ago-10	-5,86
162	SO-18	1-jan-09	15-out-09	-6,77
311	SO-18	11-jan-10	09-nov-09	-6,60
312	SO-18	11-jan-10	07-dez-09	-6,57
620	SO-18	21-fev-10	08-fev-10	-6,35
793	SO-18	24-ago-10	16-mar-10	-6,39
817	SO-18	24-ago-10	27-abr-10	-6,43
878	SO-18	24-ago-10	08-jun-10	-6,38
21	SO-18	1-jan-09	11-mai-09	-6,55
21	SO-18	1-jan-09	11-mai-09	-6,55
33	SO-18	1-jan-09	09-jun-09	-6,80
50	SO-18	1-jan-09	06-jul-09	-6,84
107	SO-18	1-jan-09	24-ago-09	-7,07
134	SO-18	1-jan-09	22-set-09	-6,89
308	SO-18	1-jan-09	10-fev-09	-6,47
308	SO-18	1-jan-09	10-fev-09	-6,47
321	SO-18	11-jan-10	08-jan-10	-6,56
1171	SO-18	27-ago-10	03-ago-10	-6,70
1380	SO-18	5-nov-10	01-out-10	-7,02
1382	SO-18	5-nov-10	29-set-10	-5,97
1519	SO-18	5-nov-10	03-nov-10	-7,06
186	SS-18	11-jan-10	19-out-09	-5,63
12	SS-18	1-jan-09	14-mai-09	-5,39
39	SS-18	11-jan-10	15-jun-09	-5,53
75	SS-18	1-jan-09	17-jul-09	-5,12
121	SS-18	1-jan-09	01-set-09	-5,62
144	SS-18	1-jan-09	25-set-09	-5,70
313	SS-18	1-jan-09	12-fev-09	-4,78
314	SS-18	21-fev-10	12-mar-09	-5,39
315	SS-18	1-jan-09	17-abr-09	-5,53
316	SS-18	11-jan-10	16-nov-09	-5,43
317	SS-18	11-jan-10	10-dez-09	-5,53



Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – IG/UnB

Programa de Pós-Graduação em Geologia

**Águas subterrâneas do distrito federal - efeito de sazonalidade e características associadas aos isótopos de deutério, oxigênio e carbono**

Num BSB	Nome da amostra	Data de análise	Data de coleta	$\delta^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (/1000)
319	SS-18	11-jan-10	11-jan-10	-5,45
627	SS-18	21-fev-10	05-fev-10	-5,47
786	SS-18	24-ago-10	30-mar-10	-5,38
806	SS-18	24-ago-10	04-mai-10	-5,34
884	SS-18	24-ago-10	14-jun-10	-5,23
1181	SS-18	27-ago-10	10-ago-10	-5,32