

Capítulo 2:

SOLOS E IRRIGAÇÃO

Clovis Manoel Carvalho Ramos
Luís Henrique Bassoi
Pedro Róbinson Fernandes de Medeiros
Maráisa da Silva Ferreira

Dados regionalizados como ferramenta de caracterização de área e gestão da irrigação

O planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em um perímetro irrigado exige a utilização de técnicas e instrumentos capazes de auxiliar profissionais a realizarem a gestão de água em um cenário complexo quanto às demandas e ofertas desse recurso. Para isso, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo relacionadas ao fluxo e armazenamento de água no mesmo, pode contribuir na definição de melhores estratégias para o manejo sustentável do solo e da água.

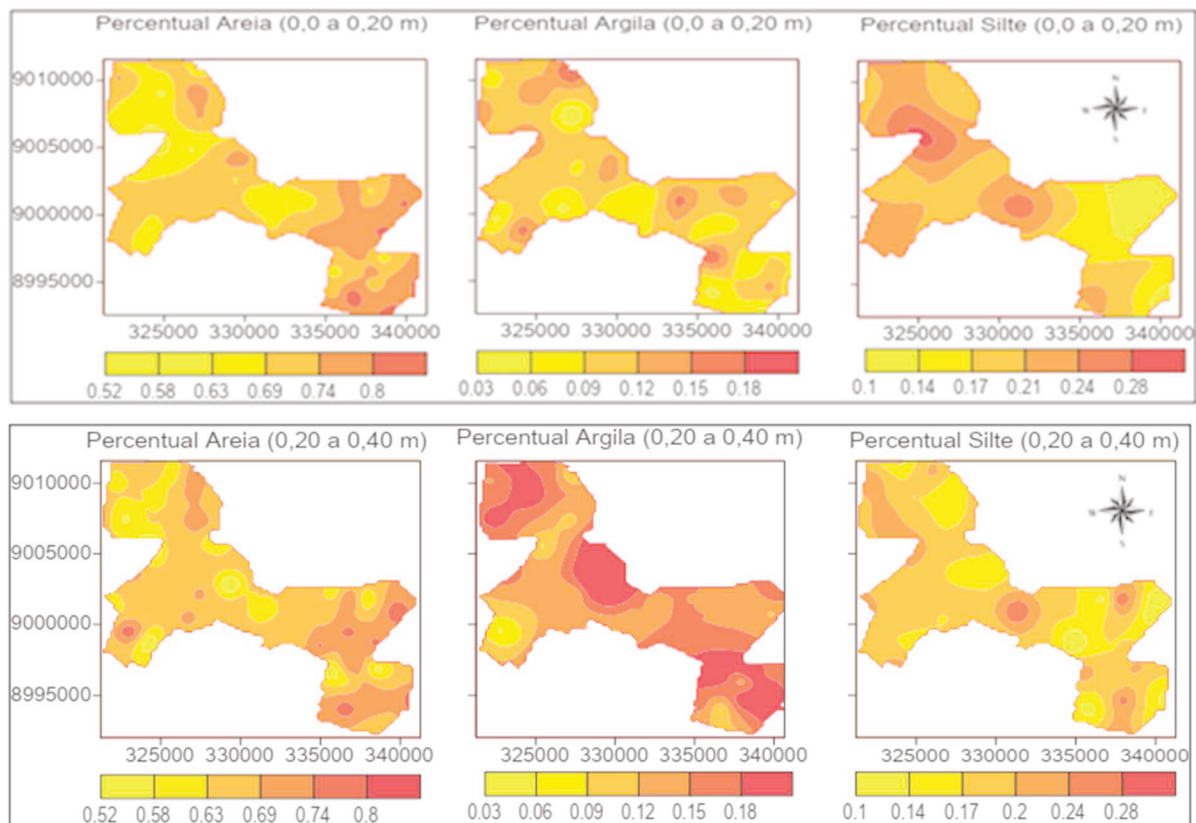
O planejamento agrícola em uma área irrigada busca considerar diferentes informações que variam no espaço e no tempo, como o uso do solo, disponibilidade e demanda de água, a prática da irrigação e suas interações com o solo, a planta e o clima. Estes fatores complexos podem ser analisados com auxílio de tecnologias que favoreçam a eficiência no uso da água, principalmente em grandes áreas como os perímetros irrigados, e principalmente em situações de escassez de água. Desta forma a utilização de ferramentas computacionais e modelos de distribuição espacial podem auxiliar na geração de mapas com dados de variação espacial dos atributos do solo, a definição de zonas homogêneas, determinação da velocidade de infiltração de água no solo e o uso de funções de pedotransferência aliadas a espacialização dos dados podem auxiliar na gestão da irrigação em áreas específicas, melhorando o uso da água em escala de perímetro irrigado.

Assim essas ferramentas viabilizam a caracterização de grandes áreas. Esta caracterização permite a utilização de modelos que podem simular cenários de exploração agrícola e consequente uso de água auxiliando os gestores no planejamento e definição de estratégias para resolver problemas futuros.

O Perímetro Irrigado do Pontal Sul, Petrolina-PE, encontra-se com sua estrutura de bombeamento e distribuição de água concluída e teve as primeiras

unidades empresariais entregues em 2019, porém já existia estudos realizados desde 2009 no referido perímetro. Ramos (2012) realizou a espacialização das frações granulométricas, através do ajuste dos semivariogramas teóricos para os teores das frações areia, silte e argila em duas camadas de solo (0,00 a 0,20 m e 0,20 a 0,40), para 62 pontos distribuídos ao longo dos 7,7 mil ha do perímetro irrigado. Estes semivariogramas permitiram a geração de mapas da distribuição das frações texturais para toda a área do perímetro irrigado (**Figura 1**), utilizando a krigagem como método de interpolação.

Figura 1 - Mapas da distribuição espacial das frações areia, argila e silte no Perímetro Irrigado do Pontal Sul, PE.



Fonte: Ramos, 2012.

Os percentuais das frações granulométricas apresentaram dependência espacial forte, segundo a classificação proposta por Zimback (2001), para areia, silte e argila nas camadas de 0-0,20 m, enquanto apenas para o silte a dependência espacial foi moderada nas camadas 0,20–0,40 m e dependência forte para a areia e a argila (**Tabela 1**).

Tabela 1 - Índice de dependência espacial (IDE) os atributos físicos do solo.

Camada	Fração Granulométrica	IDE
0,00 - 0,20	Areia	99,8%
	Argila	100,0%
	Silte	57,1%
0,20 - 0,40	Areia	90,7%
	Argila	100,0%
	Silte	98,7%

Fonte: Ramos, 2012

Para o Perímetro Irrigado do Pontal Sul, Petrolina-PE é possível realizar a sobreposição de mapas para coincidência entre a distribuição dos lotes e a variabilidade das frações texturais afim de dar suporte a práticas agrícolas para cada área em especial. Porém a definição e delimitação de áreas com características mais próximas é importante para a tomada de decisão.

Desta forma Lima (2016) propôs utilização da ferramenta de análise de agrupamentos para identificar grupos com homogeneidade e heterogeneidade entre os atributos físicos do solo, de interesse ao manejo de irrigação. Então, podem ser definidas zonas homogêneas assim como a determinação do menor número de parâmetros da delimitação destas zonas.

Esta técnica pode ser usada para reduzir a dimensão de um conjunto de dados, reduzindo uma ampla gama de objetos à informação do centro do seu conjunto (LINDEN, 2009). A aplicação dessa técnica proporciona um melhor conhecimento de áreas agrícolas por meio de sua variabilidade. A necessidade de elevada quantidade de amostras para caracterizar grandes extensões de área e os diferentes tipos de análises e obtenção dos dados, muitas vezes onerosas, podem ser minimizadas unindo as ferramentas de espacialização e métodos de previsão. Métodos de previsão têm sido propostos para identificar os parâmetros fundamentais que afetam o fluxo da água no solo na zona não saturada a partir de variáveis mais fáceis de serem medidas e acessíveis (ROMANO; PALLADINO, 2002) e do menor número destas variáveis.

Utilizando atributos físicos do solo como areia, silte, argila, densidade do solo (DS), porosidade total (PT) e velocidade de infiltração básica, Lima (2016) delimitou em três zonas homogêneas, para um conjunto de dados, o Perímetro Irrigado Pontal Sul (**Tabela 2**). Para esta definição foi utilizada a análise multivariada de agrupamento usando o algoritmo fuzzy c-means (FCM), foi considerado como parâmetro de

avaliação o valor do índice de desempenho fuzziness (FPI) e a entropia de partição modificada (MPE), descritas por Odeh et al. (1992).

Tabela 2 - Média e desvio padrão (DP) dos atributos físicos do solo referentes à camada de solo de 0,0-0,20 m₍₁₎ e da velocidade de infiltração básica (VIB) e resultado do teste de Tukey HSD₍₂₎ para cada zona homogênea (ZH) resultadas das diferentes combinações de variáveis₍₃₎.

ZH	Areia (kg kg ⁻¹)		Silte (kg kg ⁻¹)		Argila (kg kg ⁻¹)		DS (g cm ⁻³)		PT (%)		VIB (mm h ⁻¹)		
	Média	s	Média	S	Média	s	Média	s	Média	s	Média	s	
C1	1	0,821 a	0,04	0,095 b	0,03	0,084 b	0,03	1,55 b	0,07	39,79 b	2,21	166,33 a	72,60
	2	0,744 b	0,06	0,179 a	0,06	0,078 b	0,03	1,64 a	0,04	36,26 c	1,64	121,12 ab	65,02
	3	0,694 c	0,05	0,196 a	0,06	0,113 a	0,04	1,47 c	0,09	42,80 a	3,39	103,08 b	41,76
C2	1	0,821 a	0,04	0,092 c	0,03	0,087 b	0,02	1,54 b	0,08	-	-	167,15 a	76,46
	2	0,781 b	0,04	0,153 b	0,04	0,066 b	0,02	1,63 a	0,06	-	-	142,59 ab	51,25
	3	0,686 c	0,05	0,203 a	0,06	0,117 a	0,04	1,54 b	0,11	-	-	95,54 b	51,67
C3	1	0,818 a	0,04	0,097 b	0,03	0,085 b	0,02	-	-	-	-	171,89 a	70,66
	2	0,764 b	0,04	0,168 a	0,04	0,068 b	0,02	-	-	-	-	121,02 b	49,22
	3	0,678 c	0,05	0,203 a	0,06	0,124 a	0,04	-	-	-	-	90,27 b	52,18

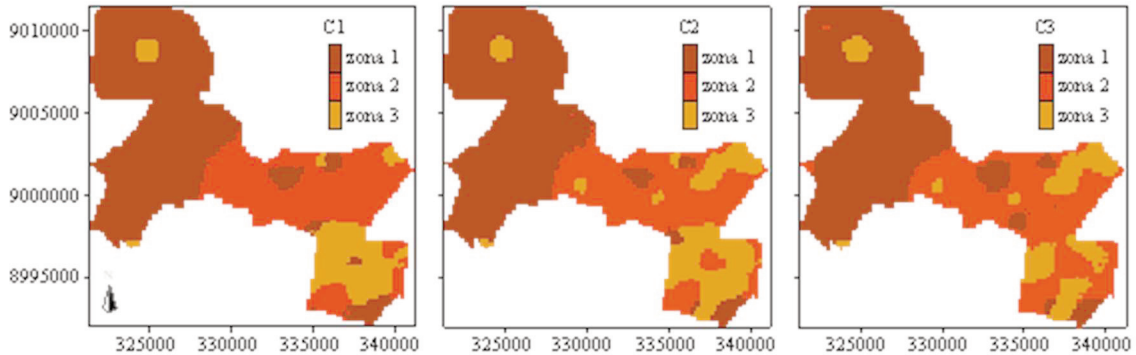
(1) DS, densidade do solo; PT, porosidade total. (2) As médias das variáveis na mesma coluna de cada combinação, seguidas por letras distintas são diferentes entre zonas homogêneas pelo teste de Tukey HSD ($p \leq 0,05$). (3) C1, combinação entre areia, silte, argila, DS, PT e VIB; C2, entre areia, silte, argila, DS e VIB; C3, entre areia, silte, argila e VIB.

Fonte: Lima, 2016.

Observando a diferença significativa que houve entre as zonas de manejo nas três combinações de atributos, verifica-se que é possível obter um zoneamento sem a utilização da DS e PT. Os resultados obtidos oferecem informações importantes para o planejamento da distribuição da água no Perímetro Irrigado Pontal Sul.

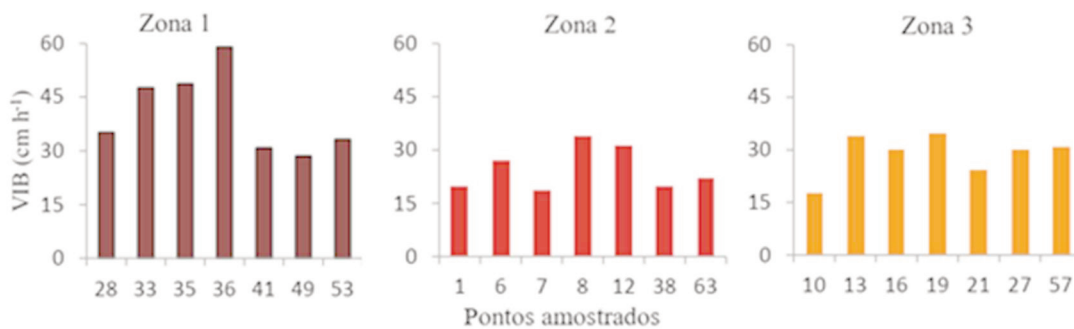
Correia (2016) analisou os dados de infiltração da água no solo de 21 pontos georreferenciados, na área do perímetro irrigado do Pontal Sul. Foram escolhidos 7 pontos para cada zona homogênea, de acordo com a classificação realizada por Lima (2016), levando em consideração a combinação 1 (**C1, Figura 2**). A autora observou que na área do Perímetro de Irrigação Pontal Sul a VIB foi muito alta, com média de 40,46 cm h⁻¹ para a zona 1, 24,59 cm h⁻¹ para a zona 2 e 24,79 cm h⁻¹ para a zona 3, (**Figura 3**).

Figura 2 - Mapas de zonas homogêneas definidas utilizando as combinações dos dados interpolados de areia, silte, argila, densidade do solo (DS), porosidade total (PT) e velocidade de infiltração básica (VIB) (C1); areia, silte, argila, DS e VIB (C2); e areia, silte, argila e VIB (C3).



Fonte: Lima, 2016.

Figura 3. Velocidade de infiltração básica de água no solo (VIB), obtida por metodologia de anéis concêntricos, amostrados em 21 pontos no Perímetro de Irrigação Pontal Sul.

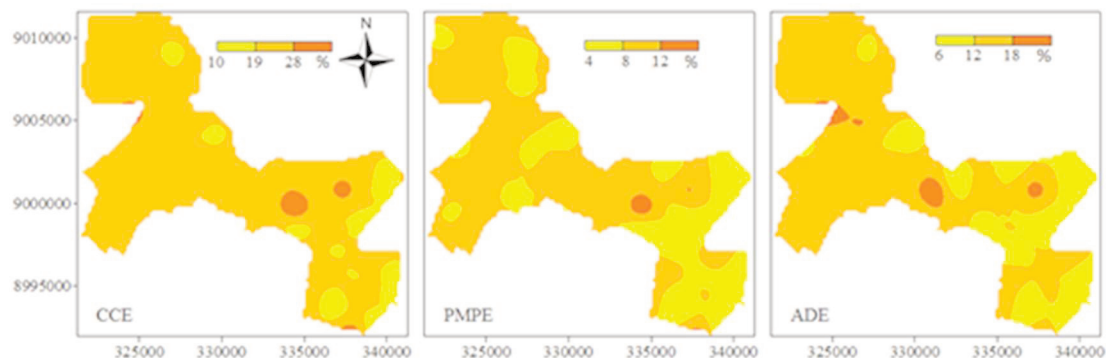


Fonte: Coreia, 2016.

De acordo com a **Tabela 2**, os maiores teores de areia e os menores de silte foram encontrados na zona 1, onde a média da VIB foi mais alta, e todos os pontos de medida tem valores maiores que as outras duas zonas classificadas (**Figura 3**). Nas zonas 2 e 3 o valor da VIB estão praticamente equilibrados com relação à média e ao conjunto de pontos (**Figura 3**). Para estas duas zonas há diferença nos percentuais de areia e argila, mas não há diferença significativa nos teores de silte.

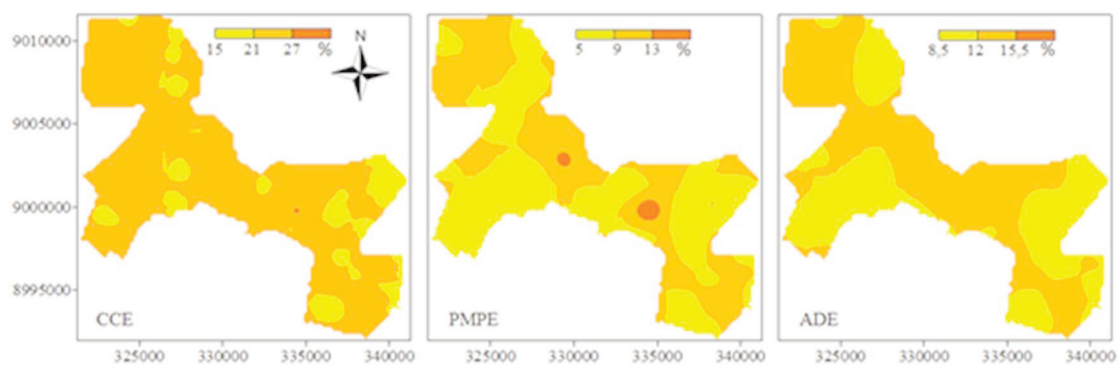
A partir das informações de variabilidade espacial dos atributos do solo e das zonas homogêneas, Lima (2016) testou funções de pedotransferência para estimar a umidade do solo na capacidade de campo e ponto de murcha assim como a espacialização da disponibilidade de água no solo (**Figuras 4 e 5**).

Figura 4 - Mapas de zonas homogêneas dos atributos capacidade de campo (CCE), ponto de murcha permanente (PMPE), água disponível observada estimada (ADE), para as camadas de solo de 0,00-0,20 m.



Fonte: Lima, 2016.

Figura 5 - Mapas de zonas homogêneas dos atributos capacidade de campo (CCE), ponto de murcha permanente (PMPE), água disponível observada estimada (ADE), para as camadas de solo de 0,20-0,40 m.



Fonte: Lima, 2016.

Os dados estimados por funções de pedotransferência surgem como uma alternativa para prever as características de retenção da água no solo em áreas com pouca informação sobre esse atributo do solo, como o Perímetro Irrigado Pontal Sul. Assim é possível realizar uma previsão do armazenamento de água no solo e caracterizar as áreas irrigadas em escala de perímetro irrigado como subsídio para uma gestão da distribuição e demanda de água pelos diversos irrigantes.

Desta forma, Souza (2020) realizou simulações estimando a demanda de água em diversos cenários de exploração agrícola levando em conta a média dos atributos do solo, de acordo com o zoneamento proposto por Lima (2016), as medidas históricas de evapotranspiração da região e a capacidade de vazão das estações de

bombeamento de cada setor do Perímetro Irrigado do Pontal Sul. Os cenários testados foram os expostos na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Culturas e porcentagem de área ocupada no Perímetro Irrigado Pontal Sul.

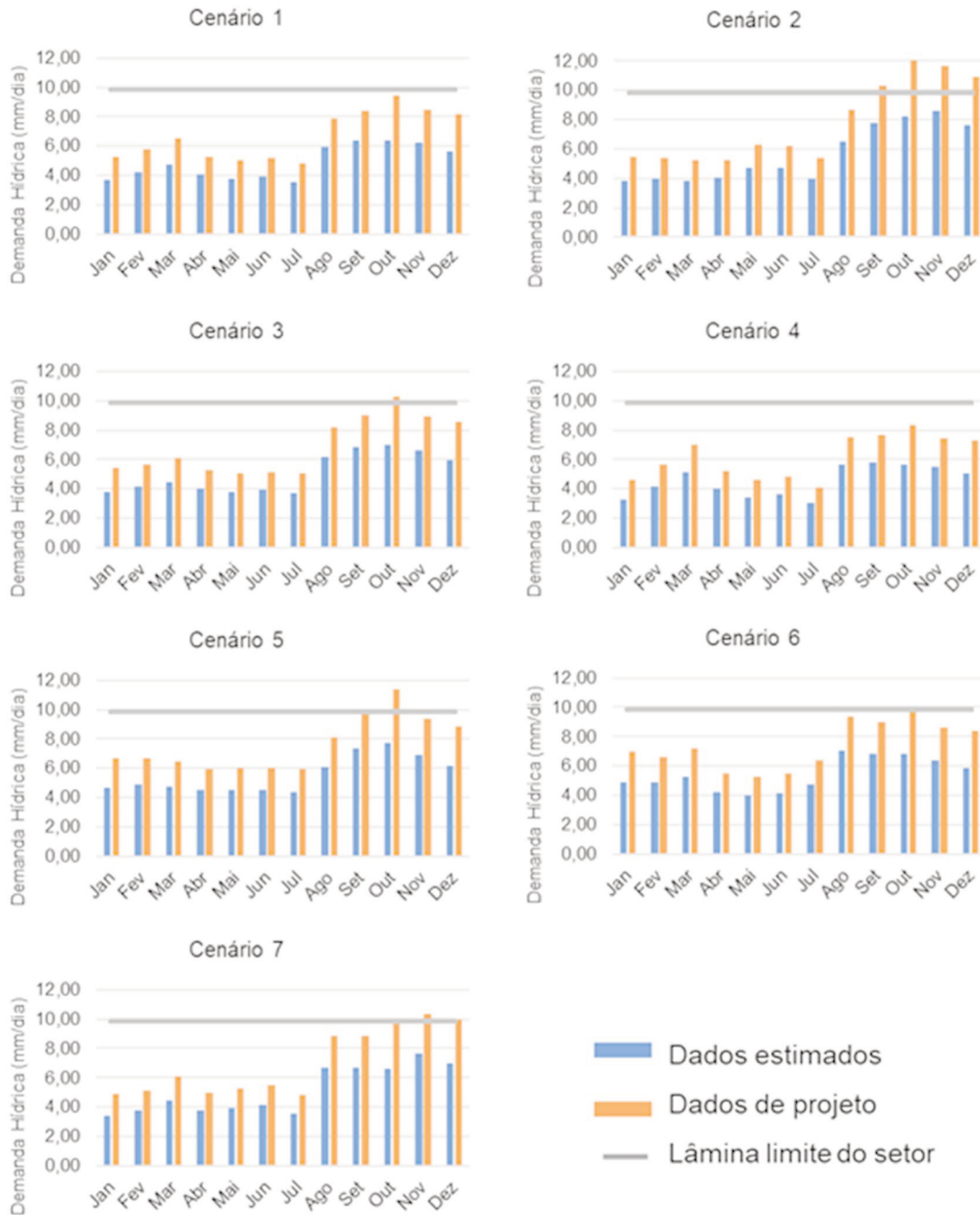
1	Acerola	4,70	Porcentagem de área e culturas utilizadas no perímetro irrigado Nilo Coelho
	Caju	5,20	
	Goiaba	8,00	
	Banana	8,20	
	Coco	11,10	
	Uva	23,50	
	Manga	39,30	
2	Acerola	33,30	Culturas com maior demanda
	Banana	33,30	
	Goiaba	33,40	
3	Banana	16,66	Sugeridas no relatório final de projeto executivo do Pontal – Área Sul
	Coco	16,67	
	Goiaba	16,67	
	Manga	33,33	
	Uva	16,67	
4	Manga	67,00	Culturas de maior destaque na região (proporcional ao perímetro irrigado Nilo Coelho)
	Uva	33,00	
5	Banana	33,33	***
	Coco	33,33	
	Manga	33,34	
6	Banana	33,33	***
	Coco	33,33	
	Uva	33,34	
7	Acerola	33,33	***
	Goiaba	33,33	
	Uva	33,34	

*** Cenários definidos por Souza, 2020. Fonte: Souza, 2020

A partir dos cenários propostos foi realizado o estudo da demanda para cada setor suprido por uma estação de bombeamento. Esta demanda foi compatibilizada com a capacidade de bombeamento para verificar se a vazão atenderia a demanda de cada cenário ao longo do ano. Utilizando como exemplo os setores atendidos pelas estações de bombeamento 19 e 58 (**Figuras 6 e 7**), verifica-se problemas de demanda em relação a capacidade de bombeamento nos cenários 2, 3, 5, 6 e 7, para o período entre setembro e dezembro. Quando simulados, os cenários apresentaram elevadas

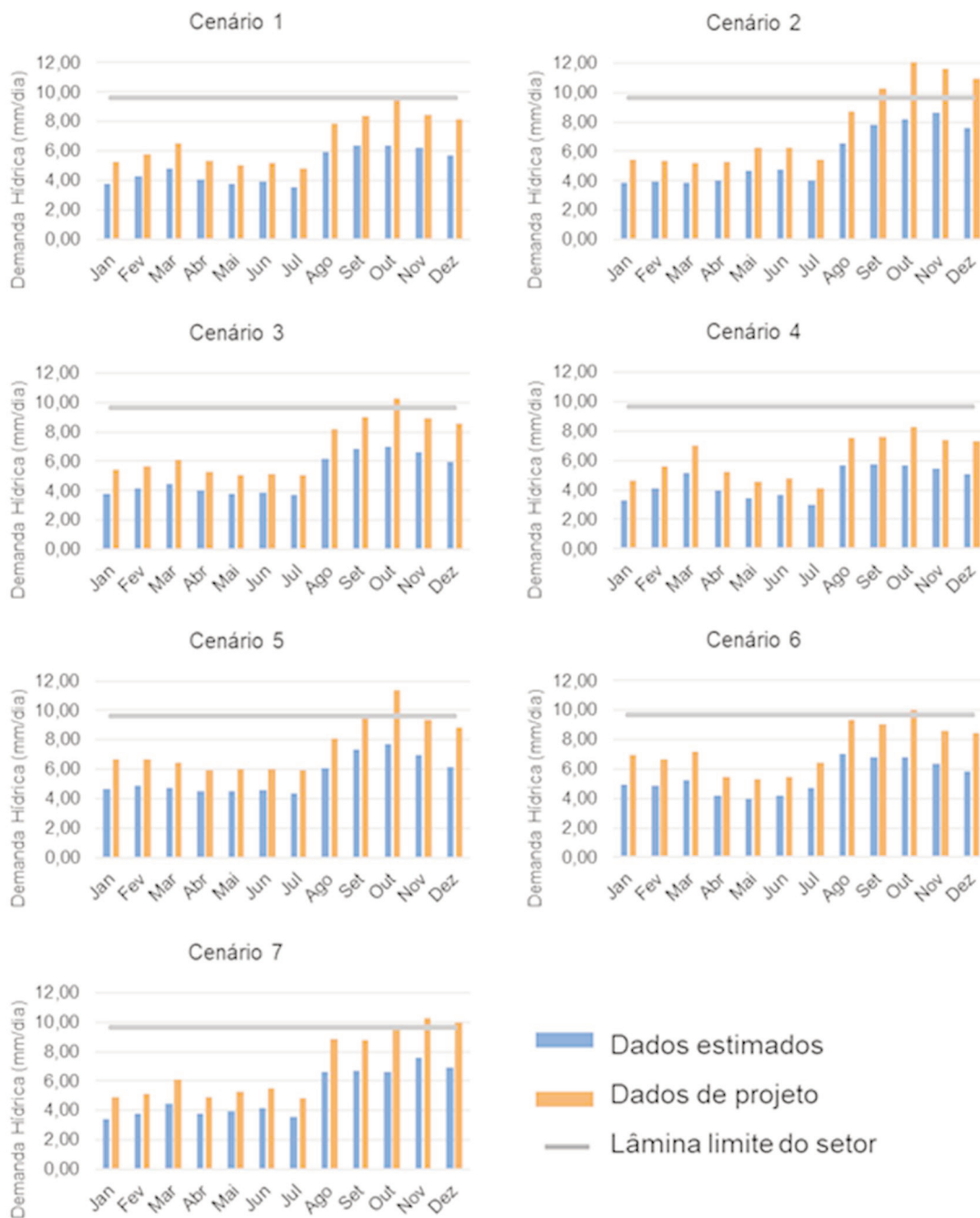
demandas de evapotranspiração, necessitando, portanto, de uma revisão e alteração no planejamento dessas áreas.

Figura 6. Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 19.



Fonte: Souza, 2020.

Figura 7. Demanda hídrica para o Projeto Pontal – Área Sul, estação de recalque 58.



Fonte: Souza, 2020.

Dimensionamento de bulbo úmido

Segundo Maia et al. (2010) a irrigação localizada tem aumentado de modo contínuo nos últimos anos em todo o mundo e no Brasil, a expansão da irrigação localizada não só tem sido contínua, como tende a acelerar, em decorrência, principalmente, da expectativa de aumento das áreas plantadas com fruteiras em diversas regiões, a exemplo da irrigação por gotejamento, e pelas suas características

inerentes de alta uniformidade de aplicação de água e manutenção contínua de ótimos teores de umidade no solo próximo ao sistema radicular, tem sido o sistema mais utilizado.

A Região Integrada de Desenvolvimento Econômico (RIDE) Petrolina-Juazeiro é um dos exemplos de aumento do uso da irrigação localizada impulsionado pelas vantagens que favorecem a produção de frutas em qualidade de exportação e quantidade economicamente viáveis ao investimento econômico. E este crescimento está direcionado aos sistemas de irrigação por gotejamento e microaspersão para as principais culturas plantadas, como por exemplo, uva, manga, goiaba, coco verde, melão, melancia, acerola, maracujá e banana.

Segundo Maia et al. (2010) o movimento de água no solo sob irrigação localizada com ponto de emissão superficial é utilizado como um índice para o dimensionamento e o manejo da água de irrigação, devido seu conhecimento ser essencial para a determinação do espaçamento entre os emissores. Este mesmo autor ainda afirma que o espaçamento dos emissores deve ser de tal maneira que uma faixa molhada se forme, porém, a sobreposição exagerada, além do maior custo devido ao maior número de emissores, diminuirá a eficiência de aplicação da água de irrigação.

Assim evidenciando a necessidade de estudos que avaliam o dimensionamento do bulbo molhado para os mais diversos tipos de solos em regiões que tem como principal atividade econômica e agricultura irrigada intensiva voltada para a fruticultura, como por exemplo, as regiões do Agropólo Assu-Mossoró no estado do Rio Grande do Norte e de Petrolina-Juazeiro nos estados de Pernambuco e Bahia.

Para este tipo de estudo devemos ter em mente que vamos necessitar de resultados que demonstre a formação do bulbo úmido molhado no solo com total controle das variáveis vazão do emissor (q) e tempo de aplicação (h), juntamente com o estudo de caracterização do tipo de solo e suas camadas verticais.

Segundo Maia et al. (2010), o modelo potencial aplica-se perfeitamente para avaliar as dimensões do bulbo molhado em função da vazão do emissor e do tempo de aplicação de água. Thabet; Zayani (2008) também utilizaram os modelos potenciais com bons resultados em outros trabalhos.

A seguir o detalhamento de resultados científicos para as regiões agrícolas de dos pólos Assu-Mossoró (RN) (**Tabelas 4 e 5**) e Petrolina-Juazeiro (BA) (**Tabelas 6 e**

7), descrevendo as equações correspondentes ao comportamento das variáveis diâmetro superficial (surface diameter) e profundidade máxima (maximum depth) do bulbo molhado em função da vazão do emissor e do tempo de irrigação.

Tabela 4. Equações potenciais que demonstram a relação entre o volume aplicado pelo emissor e o tempo de aplicação na variável diâmetro superficial (surface diameter) do bulbo úmido para os solos estudados no polo agrícola Assu-Mossoró.

Solos	Vazão (L h ⁻¹)	Equação
Luvissolo Crômico	1,0	$D_s = 24,68 t^{0,2223}$
	2,0	$D_s = 31,05 t^{0,1985}$
	4,0	$D_s = 37,55 t^{0,1767}$
	8,0	$D_s = 43,62 t^{0,2136}$
Argissolo Vermelho-Amarelo	1,0	$D_s = 24,40 t^{0,2234}$
	2,0	$D_s = 29,17 t^{0,2202}$
	4,0	$D_s = 36,40 t^{0,2112}$
	8,0	$D_s = 42,49 t^{0,2158}$
Cambissolo Háplico	1,0	$D_s = 21,79 t^{0,3330}$
	2,0	$D_s = 30,56 t^{0,3119}$
	4,0	$D_s = 39,11 t^{0,2681}$
	8,0	$D_s = 48,41 t^{0,1957}$
Neossolo Quartizarênico	1,0	$D_s = 25,30 t^{0,1980}$
	2,0	$D_s = 29,58 t^{0,2334}$
	4,0	$D_s = 37,96 t^{0,1309}$
	8,0	$D_s = 39,64 t^{0,2280}$
Latossolo Vermelho	1,0	$D_s = 20,53 t^{0,2688}$
	2,0	$D_s = 25,89 t^{0,1936}$
	4,0	$D_s = 31,52 t^{0,2645}$
	8,0	$D_s = 34,58 t^{0,2153}$
Neossolo Flúvico	1,0	$D_s = 19,19 t^{0,3342}$
	2,0	$D_s = 26,80 t^{0,3827}$
	4,0	$D_s = 39,39 t^{0,3362}$
	8,0	$D_s = 45,45 t^{0,3252}$

Fonte: Maia et al. 2010

Tabela 5. Equações potenciais que demonstram a relação entre o volume aplicado pelo emissor e o tempo de aplicação na variável profundidade máxima (maximum depth) do bulbo úmido para os solos estudados no polo agrícola Assu-Mossoró.

Solos	Vazão (L h ⁻¹)	Equação
Luvissolo Crômico	1,0	$Zm = 15,26 t^{0,3533}$
	2,0	$Zm = 19,91 t^{0,3714}$
	4,0	$Zm = 24,97 t^{0,4190}$
	8,0	$Zm = 29,64 t^{0,4210}$
Argissolo Vermelho-Amarelo	1,0	$Zm = 18,49 t^{0,3180}$
	2,0	$Zm = 20,70 t^{0,4665}$
	4,0	$Zm = 30,48 t^{0,3497}$
	8,0	$Zm = 38,92 t^{0,4231}$
Cambissolo Háplico	1,0	$Zm = 13,80 t^{0,3869}$
	2,0	$Zm = 19,15 t^{0,4291}$
	4,0	$Zm = 23,46 t^{0,4839}$
	8,0	$Zm = 35,78 t^{0,3520}$
Neossolo Quartizarênico	1,0	$Zm = 14,41 t^{0,4175}$
	2,0	$Zm = 18,72 t^{0,4185}$
	4,0	$Zm = 28,43 t^{0,4625}$
	8,0	$Zm = 34,60 t^{0,3611}$
Latossolo Vermelho	1,0	$Zm = 15,47 t^{0,3553}$
	2,0	$Zm = 23,24 t^{0,3405}$
	4,0	$Zm = 27,80 t^{0,3491}$
	8,0	$Zm = 35,09 t^{0,4680}$
Neossolo Flúvico	1,0	$Zm = 8,85 t^{0,4529}$
	2,0	$Zm = 13,15 t^{0,3246}$
	4,0	$Zm = 12,41 t^{0,3937}$
	8,0	-

Fonte: Maia et al. 2010

Para o polo agrícola Assu-Mossoró localizado no estado do Rio Grande do Norte, os solos estudados foram os seguintes, Luvissolo Crômico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho, Cambissolo Háplico, Neossolo Quartizarênico e Neossolo Flúvico (MAIA et al., 2010) segundo a classificação da Embrapa (2006).

Tabela 6. Equações potenciais que demonstram a relação entre o volume aplicado pelo emissor e o tempo de aplicação na variável diâmetro superficial (surface diameter) do bulbo úmido para os solos estudados no polo agrícola Petrolina-Juazeiro.

Solos	Vazão (L h ⁻¹)	Equação
Associação de Cambissolo e Neossolo Flúvico textura franco-arenoso (CYn)	1,0	$D_s = 22,689 t^{0,2826}$
	1,5	$D_s = 26,185 t^{0,2864}$
	2,0	$D_s = 26,467 t^{0,3369}$
	3,0	$D_s = 32,004 t^{0,3158}$
	4,0	$D_s = 32,205 t^{0,3593}$
Associação de Argissolo Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo textura francoarenoso (PAed)	1,0	$D_s = 20,504 t^{0,3854}$
	1,5	$D_s = 23,876 t^{0,3158}$
	2,0	$D_s = 26,835 t^{0,3556}$
	3,0	$D_s = 27,020 t^{0,4437}$
	4,0	$D_s = 44,891 t^{0,2904}$
Associação de Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo textura franco-arenoso (PVA/Aed)	1,0	$D_s = 24,190 t^{0,2463}$
	1,5	$D_s = 29,020 t^{0,2111}$
	2,0	$D_s = 25,758 t^{0,2556}$
	3,0	$D_s = 34,523 t^{0,2312}$
	4,0	$D_s = 32,523 t^{0,2588}$
Argissolo Vermelho Amarelo textura franco-arenoso (PVAe)	1,0	$D_s = 25,084 t^{0,1494}$
	1,5	$D_s = 21,618 t^{0,2300}$
	2,0	$D_s = 24,927 t^{0,2105}$
	3,0	$D_s = 32,175 t^{0,1164}$
	4,0	$D_s = 30,742 t^{0,2762}$
Argissolo Vermelho Amarelo textura franco-siltoso (PVA)	1,0	$D_s = 25,446 t^{0,2948}$
	1,5	$D_s = 29,727 t^{0,2640}$
	2,0	$D_s = 30,940 t^{0,2879}$
	3,0	$D_s = 32,183 t^{0,2942}$
	4,0	$D_s = 38,966 t^{0,2299}$
Vertissolo textura franco-argiloso (VGn)	1,0	$D_s = 20,474 t^{0,2712}$
	1,5	$D_s = 23,919 t^{0,2272}$
	2,0	$D_s = 26,549 t^{0,2131}$
	3,0	$D_s = 27,875 t^{0,2331}$
	4,0	$D_s = 35,169 t^{0,1812}$

Fonte: (BEZERRA; CAMPECHE, 2015)

Tabela 7. Equações potenciais que demonstram a relação entre o volume aplicado pelo emissor e o tempo de aplicação na variável profundidade máxima (maximum depth) do bulbo úmido para os solos estudados no polo agrícola Petrolina-Juazeiro.

Solos	Vazão (L h ⁻¹)	Equação
Associação de Cambissolo e Neossolo Flúvico textura franco-arenoso (CYn)	1,0	$Zm = 12,769 t^{0,4355}$
	1,5	$Zm = 14,831 t^{0,3252}$
	2,0	$Zm = 18,454 t^{0,2440}$
	3,0	$Zm = 18,433 t^{0,2269}$
	4,0	$Zm = 17,241 t^{0,3062}$
Associação de Argissolo Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo textura francoarenoso (PAed)	1,0	$Zm = 13,568 t^{0,3748}$
	1,5	$Zm = 15,404 t^{0,3444}$
	2,0	$Zm = 20,239 t^{0,2557}$
	3,0	$Zm = 22,641 t^{0,2033}$
	4,0	$Zm = 26,921 t^{0,1225}$
Associação de Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo textura franco-arenoso (PVA/Aed)	1,0	$Zm = 14,224 t^{0,4381}$
	1,5	$Zm = 15,427 t^{0,4235}$
	2,0	$Zm = 20,916 t^{0,2816}$
	3,0	$Zm = 18,770 t^{0,3301}$
	4,0	$Zm = 16,441 t^{0,4124}$
Argissolo Vermelho Amarelo textura franco-arenoso (PVAe)	1,0	$Zm = 19,238 t^{0,1189}$
	1,5	$Zm = 23,752 t^{0,2299}$
	2,0	$Zm = 24,815 t^{0,1949}$
	3,0	$Zm = 27,816 t^{0,1505}$
	4,0	$Zm = 26,532 t^{0,1692}$
Argissolo Vermelho Amarelo textura franco-siltoso (PVA)	1,0	$Zm = 17,872 t^{0,4433}$
	1,5	$Zm = 23,834 t^{0,3169}$
	2,0	$Zm = 27,219 t^{0,2747}$
	3,0	$Zm = 26,587 t^{0,2711}$
	4,0	$Zm = 25,437 t^{0,3215}$
Vertissolo textura franco-argiloso (VGn)	1,0	$Zm = 19,261 t^{0,3831}$
	1,5	$Zm = 21,163 t^{0,3354}$
	2,0	$Zm = 24,924 t^{0,2913}$
	3,0	$Zm = 26,273 t^{0,2995}$
	4,0	$Zm = 24,912 t^{0,3221}$

Fonte: (BEZERRA; CAMPECHE, 2015)

Para o polo agrícola Petrolina-Juazeiro localizado nos estados de Pernambuco e Bahia, os solos estudados foram os seguintes, Associação de Cambissolo e Neossolo Flúvico textura franco-arenoso (CYn), Associação de Argissolo Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo textura francoarenoso (PAed), Associação de Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo textura franco-arenoso (PVA/Aed), Argissolo Vermelho Amarelo textura franco-arenoso (PVAe), Argissolo Vermelho Amarelo textura franco-siltoso (PVA) e Vertissolo textura franco-argiloso (VGn) (BEZERRA; CAMPECHE, 2015) segundo a classificação da Embrapa (2006).

É importante salientar que estes resultados foram obtidos em solos previamente preparados de forma semelhante, simulando o preparo realizado normalmente pelo agricultor, buscando contribuir para uma maior uniformidade do perfil entre os solos.

Obviamente que a camada superficial contribui sobremaneira para a distribuição de água no solo, porém, a formação do bulbo molhado pode ter sido, também, influenciada pelas camadas mais subsuperficiais, partes que permaneceram intactas, ou seja, sem preparo, o que pode alterar a capacidade de infiltração e/ou funcionar como uma barreira à infiltração de água ou fluxo subterrâneo (MAIA et al., 2010).

Segundo Bezerra; Campeche (2015) o modelo potencial apresentou bons ajustes e descreve adequadamente o modelo para as dimensões do bulbo molhado, com aumento do coeficiente α de acordo com aumento da vazão do emissor para o mesmo tempo de aplicação e com isso as dimensões do bulbo molhado aumentam com o incremento da vazão do emissor.

Deslocamento miscível de íons específicos para fertirrigação

A mobilidade e a capacidade de adsorção de formas químicas no solo são influenciadas por condições geológicas, físico-químico e biológico (ZUQUETTE et al., 2008), ou seja, o deslocamento de fluidos miscíveis é um processo que ocorre quando um fluido mistura-se com outro fluido e o desloca no perfil do solo, logo, a mobilidade de solutos no solo está inversamente relacionada à adsorção dos mesmos, à fração sólida ou às condições do meio que favoreçam a precipitação dos íons, como também à absorção pelas plantas e com as propriedades de cada tipo de solo (OLIVEIRA et al., 2013).

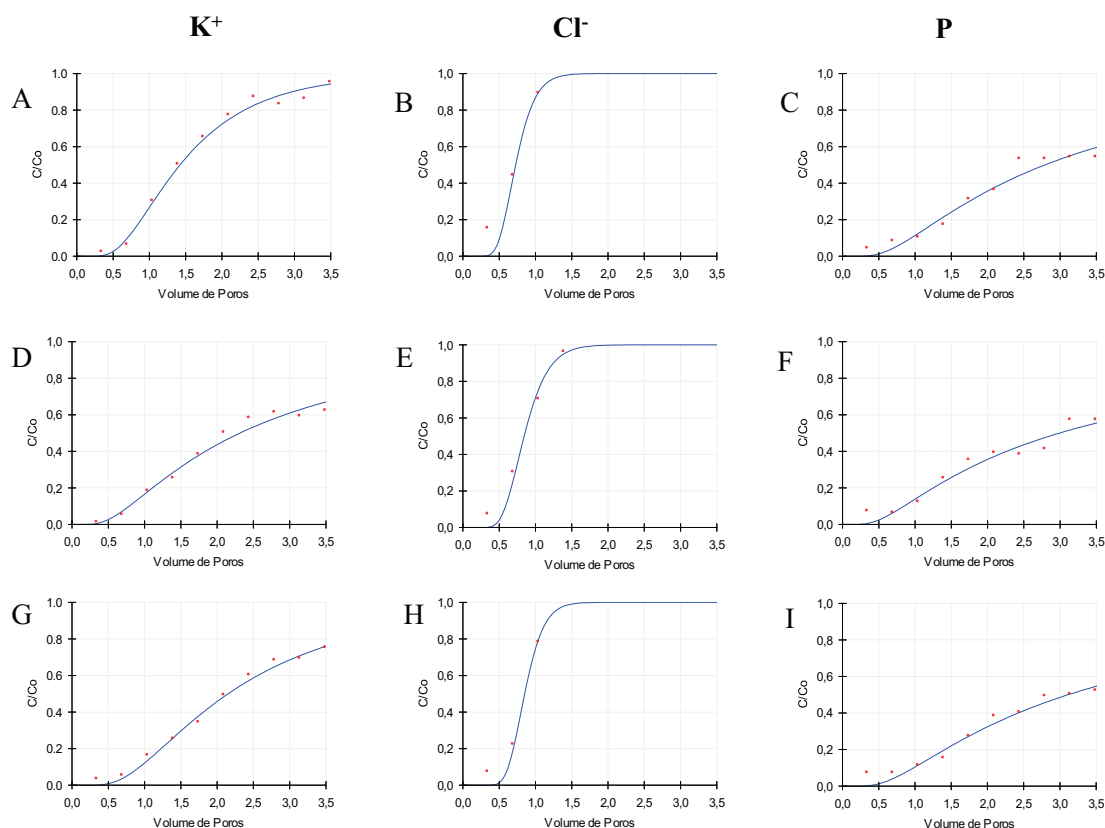
Um dos métodos empregados no estudo de mobilidade de soluto no solo é o ensaio em colunas, que quando associado a modelos matemáticos, possibilitam o entendimento do comportamento dos solutos no meio poroso e os processos de difusão, dispersão e mudanças durante o transporte (OLIVEIRA et al., 2013). Tendo como maiores dificuldades para se determinar estes modelos de remoção de íons no solo a condutividade hidráulica, os processos de adsorção e a falta de dados em relação aos níveis de acidez.

Com isso, a grande variedade de modelos já desenvolvidos em laboratórios, possibilita a melhoria das ferramentas computacionais, fornecendo informações para os quais o modelo possa ser aplicado com confiança (FERREIRA, 2018). Dentre esses modelos encontra-se o STANMOD (STudio of ANalytical MODels), software utilizado para a descrição do transporte de solução em meios porosos usando soluções analíticas de dispersão convecção.

Assim utilizaremos o STANMOD (STudio of ANalytical MODels) para demonstrar a dinâmica do deslocamento miscível dos íons específicos potássio, cloro e fósforo, para o Argissolo Amarelo Distrófico típico (PAd) oriundo do Perímetro Irrigado Nilho Coelho em Petrolina/PE e Vertissolo Háptico carbonático típico (VXk) oriundo da Estação Experimental da Embrapa Semiárido do Perímetro Irrigado Mandacaru em Juazeiro/BA, sob condições não saturadas presentes na Região Integrada de Desenvolvimento Econômico do Vale do sub médio do rio São Francisco (FERREIRA, 2018). Região está caracterizada pela agricultura irrigada intensiva para fruticultura como sua principal atividade econômica, o que evidencia a necessidade de estudos que envolvam o uso dos insumos, principalmente os sais fertilizantes com a técnica da fertirrigação utilizando sistemas de irrigação localizados (gotejamento e microaspersão), conforme apresentado na **Figura 8 e 9**.

De uma forma geral, independente da densidade, da altura da coluna ou do íon, quando a curva encontra-se deslocada para a esquerda, mostrando valores de VP menores que 1 para C/Co igual a 0,5; isto indica que o íon apresenta uma maior percolação atingindo assim a máxima concentração relativa na décima alíquota coletada, fato relacionado à grande mobilidade e lixiviação. Caso contrário, com a curva deslocada para a direita na qual os valores de VP foram superiores a 1 para C/Co de 0,5, indicando expressivo retardamento na velocidade de avanço íon (soluto).

Figura 8. Curvas de avanço dos íons potássio (K^+), cloro (Cl^-) e fósforo (P) na coluna de solo de 0,30 m de profundidade para as densidades de ds1 (A, B e C = $1,0 \text{ g cm}^{-3}$), ds2 (D, E e F = $1,2 \text{ g cm}^{-3}$) e ds3 (G, H e I = $1,4 \text{ g cm}^{-3}$) para o Argissolo Amarelo Distrófico típico (PAAd).

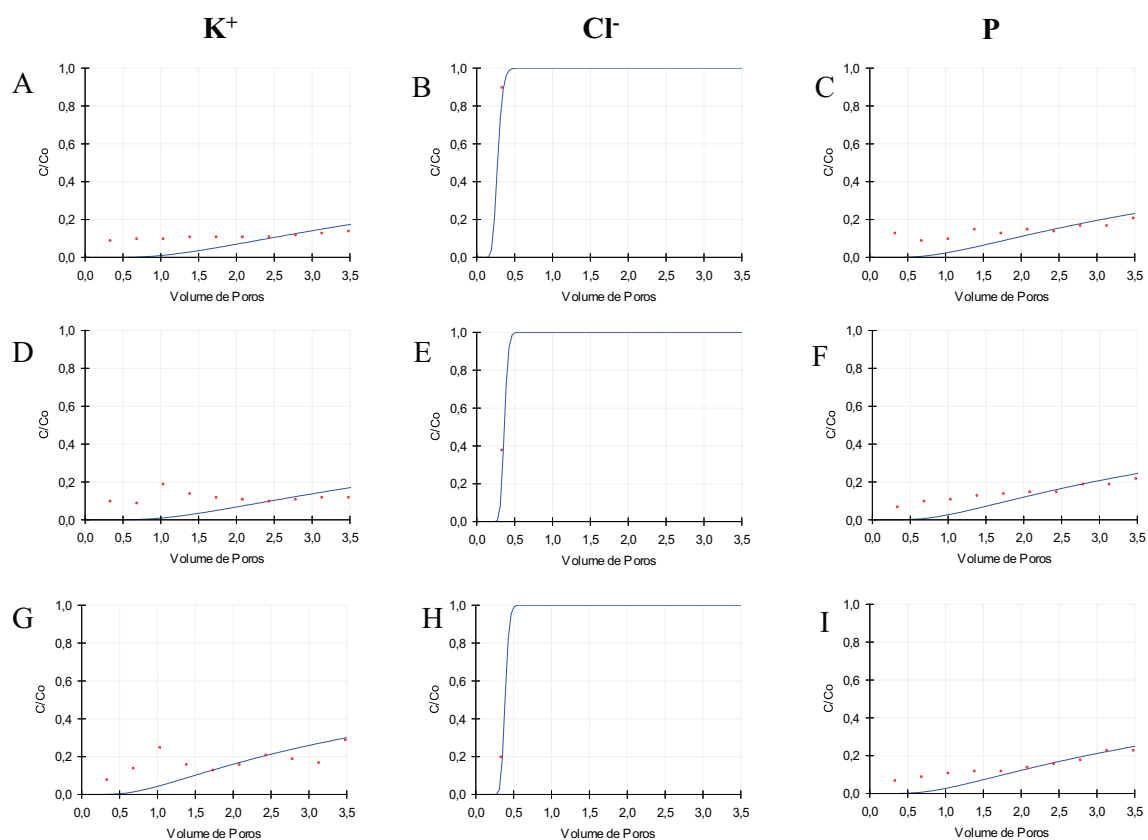


Fonte: Ferreira, 2018.

Uma forma de explicar a relação de interação solo-soluto para o presente estudo, o que pode influenciar diretamente a frente de avanço, é a possibilidade de alguns solos atingirem a concentração relativa (C/C_0) máxima do percolado o que indica uma baixa interação, correlacionado particularmente a baixa concentração de colóides de argila em sua composição.

O processo de adsorção em profundidade nos mais diferentes tipos de solos é altamente complexo, sendo resultado da heterogeneidade do solo e suas interações (FERREIRA, 2018). Por isso, uma das chaves para compreender o mecanismo de adsorção é o conhecimento detalhado da matriz do solo e as características físico-químicas dos íons (MELO; ALLEONI, 2009). O fator adsorção é definido como o acúmulo de uma molécula (inorgânica ou orgânica) na interface sólido-líquido ou sólido-gás.

Figura 9. Curvas de avanço dos íons potássio (K^+), cloro (Cl^-) e fósforo (P) na coluna de solo de 0,30 m de profundidade para as densidades de $ds1$ (A, B e C = $1,0 \text{ g cm}^{-3}$), $ds2$ (D, E e F = $1,2 \text{ g cm}^{-3}$) e $ds3$ (G, H e I = $1,4 \text{ g cm}^{-3}$) para o Vertissolo salino (V).



Fonte: Ferreira, 2018.

O mecanismo de adsorção e dessorção, juntamente com o processo de precipitação/ dissolução, são considerados os processos que controlam a concentração de espécies químicas na solução do solo (MELO; ALLEONI, 2009).

Referências

BEZERRA, A. B.; CAMPECHE, L. F. Dinâmica do bulbo molhado no solo por meio da irrigação por gotejamento em perímetros irrigados do submédio do vale do São Francisco. *Irriga*, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p. 95-102, 2015.

CORREIA, J. S. **Uso da terra e infiltração de água no solo no perímetro de irrigação Pontal Sul**. 2016. 67 f. Tese Doutorado (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

FERREIRA, M.S. **Deslocamento miscível de íons em dois solos na região do vale do SÃO FRANCISCO**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro, 2018.

LIMA, G. S. **Caracterização físico-hídrica do solo do perímetro irrigado pontal sul por funções de pedotransferência**. 2016. 82 f. Tese Doutorado (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

LINDEN, R.; Técnicas de Agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**. n. 4, p. 18-36, 2009.

MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F.; DANTAS NETO, J. Dimensões de bulbo molhado na irrigação por gotejamento superficial. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 1 p. 149-158, 2010

MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa - MG: SBCS, 2009. 695 p.

ODEH, I. O. A; MCBRATNEY, A. B.; CHITTLEBOROUGH, D. J. Soil pattern recognition with fuzzy-c-means: application to classification and soil-landform interrelationships. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 2, p. 505-516, 1992.

OLIVEIRA, L.F.C.; NOGUEIRA, J.G.; FRIZZARIM, S.S.; FIA, R.; FREITAS, J.S.; FIA, F.R.L. Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 139-148. 2013.

RAMOS, C. M. C. **Variabilidade espacial e temporal de fatores edafoclimáticos na bacia do rio Pontal, Pernambuco**. 2012. 68 f. Tese Doutorado (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

ROMANO, N.; PALLADINO, M. Prediction of soil water retention properties using soil physical data and terrain attributes. **Journal of Hydrology**, v. 265, n. 1-4, p. 56-75, 2002.

SOUZA, M H C de. **Estratégias de alocação de água para irrigação no Perímetro Irrigado Pontal Sul**. 2020. 80 f. Tese Doutorado (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020.

THABET, M.; ZAYANI, K. Wetting patterns under trickle source in a loamy sand soil of south Tunisia. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v. 03, n. 01, p. 38-42, 2008.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo**. 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

ZUQUETTE, L.V.; SILVA, E.M.; GARCIA, A. Aspectos de sorção para os materiais inconsolidados da região de São Carlos (SP), Brasil. **Revista Escola de Minas**. v. 61, n. 2, p. 219-230, 2008.