

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**USO DA TERRA E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NO
PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL**

JOSELINA DE SOUZA CORREIA

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP

Novembro – 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**USO DA TERRA E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NO
PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL**

JOSELINA DE SOUZA CORREIA

Orientador: Luís Henrique Bassoi

Coorientador: Clóvis Manoel Carvalho Ramos

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do Título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP

Novembro – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C824u Correia, Joselina de Souza, 1978-
Uso da terra e infiltração de água no solo no perímetro de irrigação Pontal Sul / Joselina de Souza Correia.
- Botucatu : [s.n.], 2016
ix, 67 f. : fots. color., grafs., ils. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016
Orientador: Luís Henrique Bassoi
Coorientador: Clóvis Manoel Carvalho Ramos
Inclui bibliografia

1. Água - Conservação. 2. Solo - Uso. 3. Regiões áridas. 3. Geotecnologia. 5. Landsat (Satelites). I. Bassoi, Luís Henrique. II. Ramos, Clóvis Manoel Carvalho. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: USO DA TERRA E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL

AUTORA: JOSELINA DE SOUZA CORREIA

ORIENTADOR: LUÍS HENRIQUE BASSOI

COORIENTADOR: CLOVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

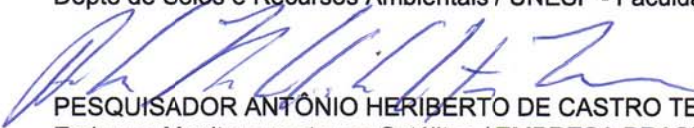
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. LUÍS HENRIQUE BASSOI
Embrapa Instrumentação / EMBRAPA



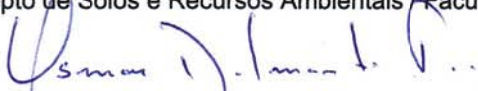
Profa. Dra. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK
Depto de Solos e Recursos Ambientais / UNESP - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



PESQUISADOR ANTÔNIO HERIBERTO DE CASTRO TEIXEIRA
Embrapa Monitoramento por Satélites / EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA



Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Prof. Dr. OSMAR DELMANTO JUNIOR
Depto de Agronegócios e Agrossistemas / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

Botucatu, 18 de novembro de 2016.

No Regrets
(Intérprete – Mike Love)

...

*This life is not a curse
There will be hard times, it will get worse
Always do your best
And always remember that you are blessed*

...

*Life is just a test
With many failures and some success
But I will place my best
And I will leave here with no regrets*

OFEREÇO

À Deus, “pelo contexto da obra”!

DEDICO

Aos meus pais (Lêda Maria e José Correia),
A minha irmã (Josélia), aos meus Irmãos (Josi, Mazinho e Nilton)
Aos meus ‘sobrinhos’, cunhadas e verdadeiros amigos.

AGRADEÇO

À Deus, pela força, persistência, suporte para o ‘renascimento’ diante dos percalços e sapiência para se não superar, driblar minhas limitações;

À minha família, por todo amor, carinho e compreensão, por preencher a lacuna, que por vezes tive que deixar, pela motivação para que dentro do possível encontrasse ‘tranquilidade e equilíbrio’, para seguir na busca por meus ideais. Dou minha vida por vocês;

À Família Borges Marinho e ‘anexos’, representada pela matriarca Izabel Marinho, senhora aparentemente frágil, mas de uma força admirável, dignidade e nobreza incontestáveis e de alegria e carinho contagiante. Minha Família (nº 2), não tenho como colocar em palavras todo afeto e gratidão que nutro por vocês. Vou carregá-los ‘tatuados’ em meu coração por toda vida, abraçamos uns as causas dos outros, a tristeza de um convalesce o outro, a glória do outro é convertida em folia, dentre os demais. Amo-os e admiro-os muito;

Aos funcionários, bolsistas e estagiários da Embrapa Semiárido, pelo suporte técnico, experiências trocadas e divertido convívio;

Ao Professor Dr Luís Henrique Bassoi, pela confiança, apoio e orientação concedida;

A Rede AgroHidro da Embrapa, pelo suporte para a realização deste trabalho;

A UNESP/FCA, em especial aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural e funcionários da biblioteca, pelos ensinamentos e evidência de comprometimento e amor ao que se dispuseram;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro.

A Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF-Juazeiro/BA), pela disponibilização de infraestrutura e auxílio as demandas ocorrentes.

Ao Pesquisador Dr Daniel de Castro Victoria, da Embrapa Informática Agropecuária, pela disponibilidade e presteza;

Ao Professor Dr Clóvis Manoel Carvalho Ramos, pela coorientação ofertada;

Aos colegas e amigos da UNESP-FCA e UNIVASF - Juazeiro/BA, mosaico do Brasil e parte do mundo, qual tive a felicidade de conhecer, pela troca de experiências e compartilhamento de anseios;

Aos amigos ‘em período integral’, independente de localização geográfica e demais atribuições, pela cumplicidade, apoio e incondicional parceria;

A todos, sem restrição de tempo ou influência, que cruzaram meu caminho em algum momento da vida, por mais fugaz ou irrelevante que tenha sido sua passagem, meu muitíssimo obrigada, de algum modo tal passagem contribuiu ou ainda contribui na ‘escrita’ de minha biografia. No processo de ‘formação’ do indivíduo, todo e qualquer ‘tipo’ de informação deve ser validada como ‘acréscimo’ para sua evolução.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	1
SUMMARY	3
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. CAPÍTULO I.....	14
VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DO SOLO E PERSPECTIVA PARA O PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL	14
INTRODUÇÃO	14
MATERIAL E MÉTODOS.....	15
Caracterização da área de estudo	15
Uso do solo.....	16
Comparação de Programas.....	20
Tendência de uso do solo	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
Aplicação do Programa ArcGis	23
Comparação – Programa IDRISI	31
CONCLUSÕES	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
3. CAPÍTULO II.....	38
CALIBRAÇÃO DE MODELO DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO DO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL.....	38
INTRODUÇÃO	38
MATERIAL E MÉTODOS.....	40
RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
4. CONCLUSÕES	61
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

1. INTRODUÇÃO	5
Figura 1: Localização do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, no mapa de risco de degradação (aporte de sedimentos) na bacia hidrográfica do rio Pontal, PE, (Adaptado de Silva et al., 2012).....	7
2. CAPÍTULO I	14
Figura 2. Mapa de localização geográfica da área de estudo, Perímetro de Irrigação Pontal Sul, Pernambuco.	16
Figura 3. Imagens do satélite LANDSAT correspondente aos anos de 2000 e 2015, evidenciando mudanças do uso e da cobertura do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, entre os anos de 2000 e 2015, Pernambuco.....	17
Figura 4. Classificação supervisionada, evidenciando mudanças do uso e da cobertura do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, entre os anos de 2000 e 2015, Pernambuco.....	19
Figura 5. Mapa do limite do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, presente na Bacia do Pontal, em Pernambuco, expondo lotes e canais.	22
Figura 6: Valores de evapotranspiração de referência (ET _o) e precipitação (P) mensal em milímetros (mm), registrados em 2000 e 2015, estação agrometeorológica da Embrapa Semiárido, situado no Perímetro de Irrigação de Bebedouro, em Pernambuco.....	23
Figura 7. Transição espaço - temporal quanto à distribuição dos tipos de uso e ocupação do solo, no período de 2000 e 2015, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.....	25
Figura 8. Variação no uso e ocupação da área, a partir de classificação supervisionada, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, entre os anos de 2000 e 2015, Pernambuco.....	25
Figura 9. Variação da evolução percentual do uso e ocupação do solo, a partir de classificação supervisionada, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, entre os anos de 2000 e 2015, Pernambuco.	26
Figura 10. Perspectiva do uso do solo para o Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.....	28
Figura 11. Porcentagem de área modificada, em transição espaço - temporal e quantificação das classes de solo, quanto seu uso e ocupação, no período de 2000 e 2015, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, pelo IDRISI.....	30
3. CAPÍTULO II	38
Figura 12. Limite do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, com demarcação dos 55 pontos amostrados.....	41
Figura 13. Zonas homogêneas do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, resultado da combinação dos atributos físicos do solo areia total, silte, argila, densidade do solo e porosidade total e velocidade de infiltração básica de água no solo (VIB), extraído de Lima (2016).	42

Figura 14. Teste de infiltração de água no solo pela metodologia dos anéis concêntricos, (A) anéis sendo fincados ao solo e (B) anéis preenchidos com água, teste em andamento	42
Figura 15. 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.....	48
Figura 16. Curvas da velocidade de infiltração de água no solo (cm h^{-1}), para os modelos de anéis concêntricos, Kostiakov e Kostiakov-Lewis, sendo expostos alguns dentre os pontos de amostragem selecionados no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Petrolina	52
Figura 17. Curvas de infiltração acumulada de água no solo (cm), para os modelos de anéis concêntricos, Kostiakov e Kostiakov-Lewis, sendo expostos alguns dentre os pontos de amostragem selecionados no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Petrolina.	53

LISTA DE TABELAS

2. CAPÍTULO I.....	14
Tabela 1. Descrição da classificação e reclassificação do uso e cobertura do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.	20
Tabela 2. Distinção e quantificação dos setores classificados quanto ao uso e ocupação do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, área total 48,07 km ²	21
Tabela 3. - Quantificação das áreas classificadas, quanto ao uso e ocupação do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, com área total de 191,22 km ²	24
Tabela 4 – Alterações ocorridas entre as classes no uso e ocupação do solo, no período de 2000 a 2015, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, com área total de 191,22 km ²	32
Tabela 5 – Comparação dos SIGs (Sistema de Informação Geográfica) ocorrida entre as classes no uso e ocupação do solo, no período de 2000 a 2015, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, com área total de 191,22 km ²	32
3. CAPÍTULO II.....	38
Tabela 6. Classificação do solo, de acordo com a velocidade de infiltração básica.	46
Tabela 7. Classificação da textura do solo, de acordo com a velocidade de infiltração básica (VIB), proposta por Bernardo; Soares e Mantovani (2009).	46
Tabela 8. Valores de infiltração da água no solo, adquiridos por metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos, provindos de tempos diferentes de ensaio e parâmetros dependentes do solo, para confecção das equações de velocidade de infiltração (VI) e infiltração acumulada (I) de água no solo, pelos métodos de Kostiakov e Kostiakov Modificado.	47
Tabela 9. Equações de velocidade de infiltração (VI) e infiltração acumulada (I), pelo modelo de Kostiakov, para ajuste de dados coletados em ensaio de campo, realizado com anéis concêntricos, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.	50
Tabela 10. Equações de velocidade de infiltração (VI) e infiltração acumulada (I), pelo modelo Kostiakov-Lewis, para ajuste de dados coletados em ensaio de campo, realizado com anéis concêntricos, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.....	51
Tabela 11. Determinação das funções de ajuste e coeficientes de determinação para os modelos de anéis concêntricos, Kostiakov e Kostiakov-Lewis, utilizados para determinação da velocidade de infiltração e infiltração de água no solo, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Petrolina – PE.	54

USO DA TERRA E INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO NO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL. Botucatu, 2016. p. 67 Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autor: JOSELINA DE SOUZA CORREIA

Orientador: LUÍS HENRIQUE BASSOI

Coorientador: CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

RESUMO

Diante das situações de escassez hídrica que ocorrem no Semiárido Brasileiro, e do contínuo aumento populacional naquela região são procurados meios que otimizem o uso da água. O objetivo desse trabalho foi analisar e criar uma perspectiva, dentro das variações ocorridas nos padrões de uso e ocupação do solo, por meio de imagens de satélites e da infiltração de água no solo, para subsidiar o uso racional da área, da água no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco. Para isso, foi feito o uso de geotecnologias, para fornecer elementos subsidiando uma melhor gestão em larga escala. Duas imagens LANDSAT para os anos 2000-2015, foram analisadas e classificadas por meio do programa ArcGis, para comparação dos diferentes tipos de uso do solo. As classes e subclasses foram definidas por processo não supervisionado, seguido por supervisionado, sendo o perímetro dividido em duas classes, área antropizada e área natural, e esses subdivididos em solo descoberto e agricultura irrigada, e em Caatinga densa e Caatinga raleada, respectivamente. As mesmas imagens foram analisadas pelo programa IDRISI, e seus resultados confrontados com os encontrados pelo ArcGis. Foram utilizados dados de 21 testes de infiltração, da água no solo determinados por meio da metodologia dos anéis concêntricos, de onde se obteve a velocidade de infiltração básica (VIB). Os dados encontrados foram ajustados por vários modelos, e o de Kostiakov e a função potência foram os mais qualificados para os tipos de solo do perímetro. Quanto ao uso da terra, a Caatinga densa está presente em 22,1% e 24,8%; a Caatinga rala representa 51,2% e 39,1%; e a classe solo está descoberto em 26,75% e 33,64% da área do perímetro,

respectivamente em 2000 e 2015. A agricultura irrigada foi visível apenas no ano de 2015 com 2,45% da área. Quando comparados, os programas evidenciaram algumas similaridades, e relativa coerência no uso e transformação das classes do solo, sendo que o IDRISI atribuiu a algumas classes uma extensão superior ao determinado pelo ArcGis. Como divergência, o programa IDRISI registrou presença de água superficial no primeiro cenário e agricultura irrigada em ambos os anos. A VIB foi classificada como muito alta e aponta a região como arenosa sob as condições analisadas, o que dificulta sua retenção hídrica e favorece sua infiltração. Os cenários sinalizam regiões parcialmente similares como zonas potenciais, para expansão da agricultura irrigada, legitimando a eficiência dessas geotecnologias na gestão e perspectiva de uso do perímetro de irrigação.

Palavras-chave: classificação não supervisionada, velocidade de infiltração básica, modelos empíricos.

LAND USE AND SOIL WATER INFILTRATION IN THE PONTAL SUL IRRIGATION SCHEME. Botucatu, 2016. p. 67 Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JOSELINA DE SOUZA CORREIA

Advisor: LUÍS HENRIQUE BASSOI

Co-advisor: CLÓVIS MANOEL CARVALHO RAMOS

SUMMARY

In face of the water stress situations that occur in the Brazilian semi-arid, as well as the continued population growth in that region, the use of water resources should be maximized. Thus, the aim of this study was to analyze and create a perspective within the variations of land use patterns, through the image analysis and soil water infiltration, for guiding the use of irrigated area inside of the Pontal Sul Irrigation Scheme, state of Pernambuco, Brazil. For this, the use of geotechnology was made to provide elements for a better area management. Satellite images (2000-2015), provided by the INPE and Codevasf, were analyzed and classified by the ArcGIS software for investigation and comparison of land use. The classes and subclasses were defined by unsupervised process, followed by supervised one, and the irrigation scheme was divided into two classes, anthropic area and natural area, and these were subdivided into discovered and irrigated agriculture soil, and dense Caatinga and thinned Caatinga, respectively. The same images were analyzed by IDRISI software, and the results compared with those found by ArcGis. Data from 21 infiltration tests were used, determined by the methodology of concentric rings, where basic infiltration rate (BIR) was derived. The data were adjusted for several models, and the Kostiakov and the power function models were the most qualified to the irrigation scheme soils. Regarding the use of the land, dense Caatinga is present in 22.1% and 24.8%; the thinned Caatinga represents 51.2% and 39.1%; and the soil is uncovered in 26.75% and 33.64% of the irrigation scheme area, respectively in 2000 and 2015. Irrigated

agriculture was visible only in the year 2015, in 2.45% of the area. Both software showed some similarities and consistency on the use and transformation of soil classes, and IDRISI assigned to a higher extent class determined by the ArcGis. As divergence IDRISI software recorded the presence of surface water in the first scenario and irrigated agriculture in both years. The BIR was classified as very high and indicated that soils as sandy under the conditions analyzed, which makes its water retention low and favors water infiltration. The scenarios indicate partially similar regions as potential areas for expansion of irrigated agriculture, legitimizing the efficiency of these geotechnology in management and in the perspective of the irrigation scheme use.

Keywords: visual interpretation, unsupervised classification, infiltration rate, empirical models.

1. INTRODUÇÃO

Devido a sua extensão territorial, o Brasil apresenta uma grande diversidade climática, e considerando a relação direta existente entre o movimento de água no solo e a produção vegetal, observa-se a iminente necessidade de seu conhecimento, devido a dificuldade de distinguir ações acertadas quanto a exploração e uso agrícola daquele solo, principalmente em regiões áridas e semiáridas (CALHEIROS et al. 2009). Nestas regiões, a escassez hídrica salienta a demanda por práticas de manejo do solo e da água adequadas, para otimização dos recursos hídricos e redução de problemas oriundos das condições climáticas. Desfavoráveis Candido; Calijuri e Moreira Neto. (2010) enfatizaram a apreensão entre os pesquisadores com o uso do solo e decorrente alteração em sua cobertura, uma vez que, se não devidamente planejado, tende a acarretar sérios problemas para a vida presente na Terra. De acordo com Santos; Griebeler e Oliveira, (2010), a conservação dos recursos hídricos implica em grande entrave para a sociedade. A disponibilidade de água doce presente na natureza vem sendo reduzida, enquanto a população cresce de forma vertiginosa, decorrendo na degradação do meio ambiente, tanto pela expansão agrícola, quanto pelas construções.

Valle; Francelino e Pinheiro (2016) pontuaram que os ecossistemas reagem de forma diversificada às ações antrópicas sobre os componentes paisagísticos, deste modo, a identificação através de mapas da fragilidade presente no ambiente permite uma seleção e melhor planejamento, de modo a dirigir uma atenção mais específica para áreas mais vulneráveis, inibindo assim a possibilidade de comprometimento das demais áreas. Os autores afirmaram que para maior eficácia dos mapas, deve-se levar em conta a vulnerabilidade do ambiente à degradação, ao planejar as formas de uso e cobertura do solo, executando contínuo monitoramento dos processos relativos ao ambiente. Através da combinação de um grande número de informações de natureza e escalas variadas, as

ferramentas que integram o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), permitem a prática de operações complexas.

De significativo proveito, as informações, advindas da caracterização da superfície terrestre são hoje continuamente adquiridas por meio de geotecnologias, indispensáveis para adequado planejamento e zoneamento das áreas (PAULA; CABRAL; MARTINS, 2012). Através da quantificação da radiação refletida e/ou emitida pelos objetos estudados, os sensores remotos conjuntamente com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), produzem artifícios para tratamento dos dados georreferenciados, atribuindo qualidade, confiabilidade e dinamismo, o que proporciona a uniformização dos resultados (SILVA et al., 2012).

O uso das geotecnologias, por meio do processamento digital de imagens de satélite, pode fornecer um suporte para execução de uma melhor gestão em diferentes escalas, espaciais e temporais espacial (COELHO et al., 2014), através da captura e interpretação das inúmeras informações presentes na imagem, viabilizando assim a identificação do já existente e um melhor e mais cauteloso planejamento, tanto para uso futuro quanto para alterações imediatas. Desse modo, através de uma análise espacial de tendências, é possível identificar áreas, cujo processo de transição seja relevante, classificando e zoneando a região, conforme tendências positivas ou negativas de evolução.

De relevante importância para manutenção dos recursos naturais, as bacias hidrográficas constituem uma das principais unidades de gestão territorial, que por decorrência das alterações edafoclimáticas, requerem manejo qualificado para a contínua evolução sustentável de suas reservas hídricas, destinadas a fins diversos (SILVA et al., 2012). Autores como Sherwood e Fu (2014); Wang et al. (2014) e Yin; Xiong; Qiu (2016) também atribuíram às mudanças climáticas e ao uso e cobertura do solo, as alterações ocorrentes na disponibilidade e espacialização das fontes hídricas, presentes em uma determinada região. Segundo Silva et al. (2012) as propriedades morfométricas, relativas ao relevo e drenagem, são responsáveis por considerável parte da caracterização da área, a exemplo da infiltração e escoamento das águas, exercendo assim considerável influência na formação geológica e constituição dos elementos que integram a superfície terrestre.

Elaiuy et al. (2009) ressaltaram que, perante a iminência do uso qualificado das fontes hídricas juntamente com a evolução tecnológica, pesquisas voltadas ao monitoramento da dinâmica da água no solo são impulsionadas, uma vez que sua avaliação está diretamente ligada ao significativo sistema solo – água – planta – atmosfera.

Em trabalho com uso de SIG, para verificação dos riscos de degradação, também na Bacia do rio Pontal, Silva et al. (2012) confeccionaram mapa (Figura 1), sinalizando como áreas de maior produção de sedimentos (alto risco de degradação), as localizadas na periferia da rede de drenagem, e as de baixo risco, distribuídas em toda extensão da bacia, fato ao qual relacionam a existência de declividade associada à várzea e plano suave ondulado, o que ocasiona a redução do escoamento superficial e carreamento do material desprendido. Isso corre por causa da compactação do solo e conseqüente, redução da taxa de infiltração da água no solo. A compactação do solo, de fácil identificação torna-se evidente através do rebaixamento deste e da presença de selamento superficial, ou seja, da camada que dificulta não somente a infiltração de água no solo, mas também a emergência de plantas.

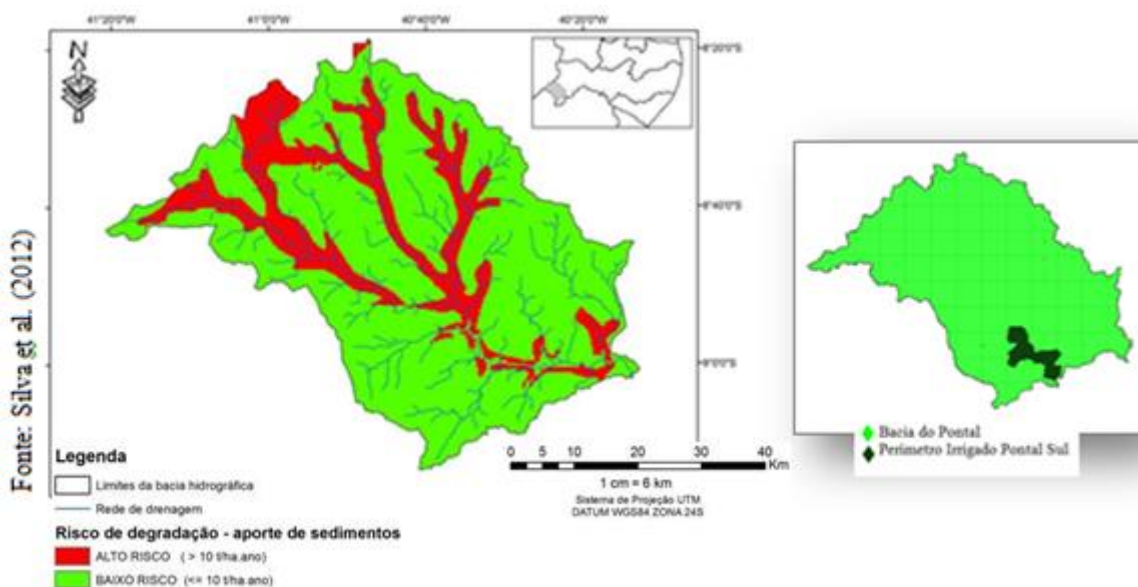


Figura 1: Localização do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, no mapa de risco de degradação (aporte de sedimentos) na bacia hidrográfica do rio Pontal, PE, (Adaptado de Silva et al., 2012).

O selamento superficial, também denominado de encrostamento superficial, consiste na sedimentação de material desprendido, formando uma camada delgada na superfície do solo, decorrendo assim no aumento da densidade global, redução da porosidade e da condutividade hidráulica (SILVA; KATO, 1997). Dentre os fatores responsáveis pelo acúmulo de sedimentos nas bacias hidrográficas, o uso e cobertura do solo exercem considerável influência, tanto nas perdas de água quanto de

solo (SILVA et al., 2005). Ocasionalmente depreciação da qualidade da água e limitando a disponibilidade hídrica (VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO 2010).

De acordo com Paula; Cabral e Martins (2012), a padronização do êxito nas análises provenientes de processamento digital, está interligada à qualidade dos dados iniciais; desse modo a similaridade dos modelos digitais de elevação (MDEs) com o relevo evidenciado, deve apresentar maior grau de nitidez possível, a fim de inibir falhas e obstruções na interpretação das imagens resultantes. A tecnologia sinaliza grande avanço dos mecanismos de captura e interpretação de dados, pontuando de forma eficiente os locais acometidos de alterações espaço-temporal, fazendo uso para isso de imagens digitais (COPPIN et al., 2004).

Por se tratar de uma avaliação quantitativa, a interpretação é realizada a partir da visualização dos atributos da área, sendo que as características que maior influência exerce sobre sua suscetibilidade a erosão são os relacionados à taxa de infiltração de água no solo, em conjunto com a resistência ao cisalhamento (deformação) (PAULA; CABRAL; MARTINS, 2012).

Os modelos de simulação são ferramentas importantes que permitem o planejamento de uma área de forma prática, rápida e econômica, através de prospectiva que resulta em uma composição de um banco de dados com os prós e contra de sua real aplicação, viabilizando uma execução segura em um sistema real. Dias e Walde (2013) classificaram a modelagem dinâmica como uma representação matemática do 'real', visto que expõe de forma fictícia, todo processo de modificação incidente sobre determinada localidade, em resposta as circunstâncias transcorridas. Os modelos de simulação admitem a criação de cenários virtuais para uma localidade através do uso de características peculiares, permitindo antever e assim contornar possíveis eventos indesejáveis. De relevante importância, o entendimento da dinâmica de transformação do uso e cobertura do solo, auxilia no processo de compreensão do espaço a ser trabalhado, possibilitando a criação de cenários prospectivos (BRANNSTROM et al., 2008).

Os modelos versáteis e por vezes práticos podem ser utilizados para monitoramento ou simulação dos cenários, tanto em propriedades agrícolas quanto em níveis mais abrangentes, como microbacia hidrográfica, regiões, dentre outros (ARAUJO; GOEDERT; LACERDA, 2007).

O conhecimento das formas de uso e ocupação das áreas é imprescindível para o planejamento e execução de medidas mitigadoras, requerendo

continua atualização dos dados para mapeamento e visualização da situação real da área, principalmente dos impactos ambientais (PAULA; CABRAL; MARTINS, 2012), normalmente decorrentes de ação antrópica (LIU; LI, 2008). Lopes (2008) complementou ao afirmar que o uso de mapas, como ferramenta de auxílio para a gestão de áreas, pode reduzir ou mesmo eliminar falhas que intensificariam o processo de degradação ambiental.

A vulnerabilidade de uma área à ação de agentes erosivos está diretamente ligada ao tipo de uso ao qual está condicionado, visto que a erodibilidade do solo está vinculada a capacidade de infiltração de água nesse solo (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Costa; Alves; Sousa (2015) relatam que solos com manejo inadequado e sob uso contínuo, são acometidos pela redução de sua porosidade, o que decorre na limitação da permeabilidade, implicando na modificação de sua infiltração e condutividade hidráulica. O mesmo é afirmado por Stefanoski et al. (2013) e Gonçalves e Moraes (2012), que foram enfáticos ao afirmar que o tipo de manejo aplicado ao solo compromete a estrutura e quantidade de poros, interferindo assim na infiltração do solo. Responsável pelo incremento de macroporos na camada superficial e da condutividade hidráulica do solo, a cobertura do solo também resguarda os agregados do atrito ocasionado pelas gotas das chuvas ou irrigação, inibindo o encrostamento superficial, favorecendo a evolução das taxas de infiltração e a redução considerável das perdas de água e solo (PINHEIRO; TEIXEIRA; KAUFMANN, 2009). Entretanto, os mesmos autores retrataram contradição ao evidenciar reduzida capacidade de infiltração de água no solo em área com pastagem nativa.

A condutividade hidráulica do solo é o atributo que qualifica o movimento da água, informação relevante na gestão agrícola, tanto para produção quanto para o manejo e preservação ambiental (GONÇALVES; LIBARDI, 2013).

Para um melhor manejo da água e do solo, faz-se necessário uma visão mais apurada das reais condições da área a ser trabalhada, contudo a distribuição espaço-temporal constitui um dos principais problemas para aquisição dos dados referentes aos atributos físico-hídricos, necessários para viabilização do manejo (SILVA; KATO, 1997).

Panachuki et al. (2006), em trabalho com 3 diferentes sistemas de cultivo agrícola, observaram que solos com manejo mecânico, após determinado período, estavam predispostos a ter sua estrutura modificada pelo fracionamento dos agregados, o

que acarretou na diminuição dos macroporos e, conseqüentemente, no aumento de sua densidade e, concomitantemente, na redução da taxa de infiltração e aumento do escoamento superficial. Dos componentes do balanço hídrico, a infiltração é uma das mais significativas pois, aliado à precipitação, define a fração de água disponível na zona radicular, o escoamento superficial e o abastecimento do lençol freático (SILVA; KATO, 1998).

A infiltração é um processo dinâmico, que ocorre a partir da superfície do solo, em uma ação vertical de penetração da água (POTT; DE MARIA, 2003; GONDIM et al., 2010), uma vez que a água precipitada, tanto da chuva quanto da irrigação, sobre a superfície do solo, apresenta potencial total quase nulo, e a água já constante no solo potencial negativo (quanto mais seco o solo, maior será esse valor negativo); a partir daí é constituído um gradiente de potencial total, ou seja, o potencial gravitacional é adicionado ao matricial (FAGUNDES et al., 2012).

Considerado como indicativo de qualidade física do solo, a taxa de infiltração da água no solo (BERTOL et al., 2000; REICHERT et al., 2009) tem sua distribuição espacial atribuída tanto ao processo de formação do solo quanto ao seu manejo (CICHOTA, LIER, LEGUIZAMÓN ROJAS., 2003; MIGUEL; VIEIRA; GREGO 2009). De suma importância agrônômica, devido sua influência na composição de enxurradas, erosão e na estimativa da lâmina de irrigação, a taxa de infiltração integra o volume de água que adentra a superfície do solo em um determinado intervalo de tempo (CICHOTA; LIER; LEGUIZAMÓN ROJAS, 2003).

Durante a infiltração, em um solo ainda seco, a relação volume infiltrado e tempo é inversamente proporcional, pois a medida que o tempo evolui a água infiltrada tende a redução, atingindo a constância com a saturação do solo, sendo esse valor infiltrado, conhecido por taxa ou velocidade de infiltração básica (VIB) (ALVES SOBRINHO et al., 2003; POTT; DE MARIA, 2003).

Existe uma grande variedade de métodos e modelos para determinação da VIB de água no solo (ZWIRTES et al., 2013; ZAKWAN; MUZZAMMIL; ALAM, 2016). No entanto, para uso e interpretação desses dados, é primordial entender o mecanismo de interação desses com as variáveis que integram o solo (POTT; DE MARIA, 2003). Ainda assim, tais práticas demandam muito tempo e trabalho, além de apresentarem restrições.

Dentre os métodos mais usuais para verificação da VIB em análises hidrológicas, estão os infiltrômetros de anéis concêntricos e o simulador de chuvas.

Brandão et al. (2006) observaram que o uso dos simuladores de chuva requer especial atenção, sendo necessário junto a prática dos ensaios, uso de artifícios como quebra ventos ou estruturas para amenizar ou inibir ação eólica, que pode alterar de modo relevante os resultados. O infiltrômetro de anéis concêntricos consiste em um par de anéis, sendo o menor com 25 centímetros de diâmetro e o maior com 50 cm, ambos com altura de 30 cm, cuja borda apresenta forma em bisel, para facilitar entrada no solo, sendo para isso feito uso de uma marreta (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009; JOSÉ et al., 2013; NETTO et al., 2013).

Em análise aos dois métodos, simulador de chuvas e infiltrômetros, o infiltrômetro de anéis concêntricos superestima os valores de infiltração encontrados com simulador de chuvas, isto em decorrência do selamento superficial ocasionado pelas gotas de água, ocorrentes na precipitação simulada (BRANDÃO et al., 2006). Pott e De Maria (2003) acreditaram que o uso de métodos para avaliação da VIB, quando não consideram o impacto ocasionado pelas gotas de água advindas da irrigação ou chuva, superestimam os dados de infiltração de água no solo, ocasionando no subdimensionamento do projeto de irrigação e, por consequência, em uma série de problemas decorrentes. Todavia, pesquisadores ressaltam que parte da superestimativa dos resultados encontrados pelo método do anel ocorre em virtude do volume de água adicionado a superfície de um solo alterado pela colocação dos anéis, adulterando assim a condutividade e gradiente hidráulico do solo (BRANDÃO et al., 2006).

O uso dos infiltrômetros assegurou ampla difusão na determinação das propriedades hidrodinâmicas do solo, referente à infiltração, uma vez que a estimativa da taxa de infiltração de água no solo é categórica para determinação do seccionamento da água precipitada, tanto para infiltração quanto para escoamento superficial; da velocidade de penetração para difusão da umidade no solo; e da especificação da lâmina a ser utilizada em um projeto de irrigação (LIMA; SILANS, 1999).

Lima e Silans (1999) observaram que, apesar da inexistência de padronização das técnicas de avaliação da infiltração de água no solo, é usual o emprego do infiltrômetro de anéis concêntricos ou duplo anéis, sendo que o anel externo tem por meta inibir a infiltração lateral de água do anel interno, ocasionando desse modo, a

dissipação de seu maior fluxo no sentido vertical. Em contrapartida, para seu funcionamento a metodologia demanda de grande volume de água.

Já os modelos de determinação da VIB estão divididos em teóricos e empíricos (BRANDÃO et al., 2006; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2009).

Devido ao significativo número de possibilidades de aplicação da velocidade de infiltração, e seus respectivos interesses, foram criados diversos modelos, dentre eles o de Kostiakov (1932) e Kostiakov-Lewis (1945). Diante da vasta diversidade edafoclimática presente em todo o mundo, e ambicionando encontrar um modelo que melhor simule as condições naturais do ambiente, foram realizadas inúmeras comparações com modelos de infiltração, na tentativa de avaliar suas adequações aos diversos tipos de solos e sob condições de campo (ZAKWAN; MUZZAMMIL; ALAM, 2016). Brandão (2003) e Brandão et al. (2006) os autores alegaram que os modelos empíricos apresentam como prerrogativa a possibilidade de relacionar as variáveis às propriedades do solo, ainda que não possuam um significado físico.

O modelo de Kostiakov – Lewis (1945) foi criado com o intuito de corrigir a equação de Kostiakov, em que a velocidade de infiltração não alcança uma constância (tendendo a zero), divergindo do requerido no modelo. Todavia a modificação da equação de Kostiakov também evidencia pendência, pois não considera o volume de umidade inicial existente no solo, sendo indicado que a realização do ensaio ocorra diante de um volume médio de umidade (ZWIRTES et al., 2013).

A VIB de um solo sinaliza a capacidade de aplicação de água tolerada por determinado solo, auxiliando assim na escolha do emissor a ser utilizado na irrigação da área (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2006). Fiorin (2008), Dantas et al. (2011) e José et al. (2013) ratificaram por meio da afirmativa que o conhecimento da dinâmica da infiltração da água no solo fornece subsídio para aplicação de medidas estratégicas, a fim de otimizar o manejo do solo e da água, buscando minimizar ou mesmo erradicar os riscos de erosão.

Costa; Alves; Sousa (2015) relataram que mesmo os solos com boa permeabilidade podem apresentar características físicas, como porosidade e densidade, em processo de degradação, sendo eminentes ações mitigadoras para recuperação de suas propriedades, antes que o fluxo de água do solo seja afetado e, conseqüentemente, sua suscetibilidade à erosão.

Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo identificar, analisar e criar uma perspectiva, dentro das variações ocorridas nos padrões de uso e ocupação do solo, relacionando o estudo de imagens com a infiltração de água no solo, para viabilização do uso das áreas irrigadas do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, fazendo para isso, aplicações de geotecnologias e assim fornecer elementos para uma melhor gestão dessas áreas. Os dois capítulos apresentados a seguir, “VARIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DO SOLO E PERSPECTIVA PARA O PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL” e “INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO DO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL”, trazem resultados e conclusões sobre esse estudo.

2. CAPÍTULO I

VARIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA DO SOLO E PERSPECTIVA PARA O PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL

INTRODUÇÃO

O Polo Petrolina/Juazeiro, em decorrência dos diversos incentivos e investimentos em irrigação, tanto do setor privado quanto público, exporta frutas cujo montante corresponde, anualmente, a cerca de US\$ 100 milhões, produzidas em decorrência da agricultura irrigada (COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E DO PARNAÍBA, 2014a).

Para viabilizar a ocupação da área foram criados pelo governo diversos perímetros de irrigação. Dentre eles, o Perímetro de Irrigação Pontal, dividido em Norte e Sul, com aproximadamente 77,17 km² (7.717 ha) irrigáveis (CODEVASF, 2014a, b), sendo 48 km² (4,8 mil ha) no Pontal Sul.

O Perímetro de Irrigação Pontal Sul é uma grande oportunidade para o agronegócio, ainda que seja um investimento a longo prazo, pois proporcionará ao produtor a garantia de ocupar e trabalhar uma área fértil com grande potencial para produção agrícola irrigada, tendo a seu favor as condições climáticas e viabilidade de escoamento da produção, uma vez que o aeroporto internacional de Petrolina, uma das principais vias de fluxo para Europa e América do Norte, está localizado a aproximadamente 40 km do perímetro (CODEVASF, 2014a).

De fundamental importância, o conhecimento sobre os processos de uso e ocupação do solo são de fundamental importância, mas quando realizados por metodologia tradicional, além de requerer bastante tempo, também são de elevado custo. Daí a necessidade em buscar métodos alternativos (LAGO et al., 2012), promovendo

assim, uma otimização no período e capital a ser empregado. Desse modo o presente trabalho objetivou identificar, avaliar e criar uma perspectiva dentro das variações ocorridas nos padrões de uso e ocupação do solo, assim também como a adequação do seu uso na área irrigada do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, fazendo uso de geotecnologias.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo corresponde ao Perímetro de Irrigação Pontal Sul (Figura 2), com 191,22 km², localizado no Estado de Pernambuco, situado na região do Vale do São Francisco, cujo clima classificado por Köppen, é do tipo megatérmico e semiárido, BSw_h (TEIXEIRA, 2010), com pluviosidade inferior a 600 mm, distribuída irregularmente no ano, sendo março o mês mais chuvoso. Com temperatura média anual do ar de 26,1°C, sendo o período mais quente de outubro a dezembro, vigorando menores temperaturas no mês de julho. Já a umidade relativa média anual é de 66%, a insolação é de 7,3 h, a evapotranspiração média anual é de 7,4 mm (EMBRAPA, 2012).

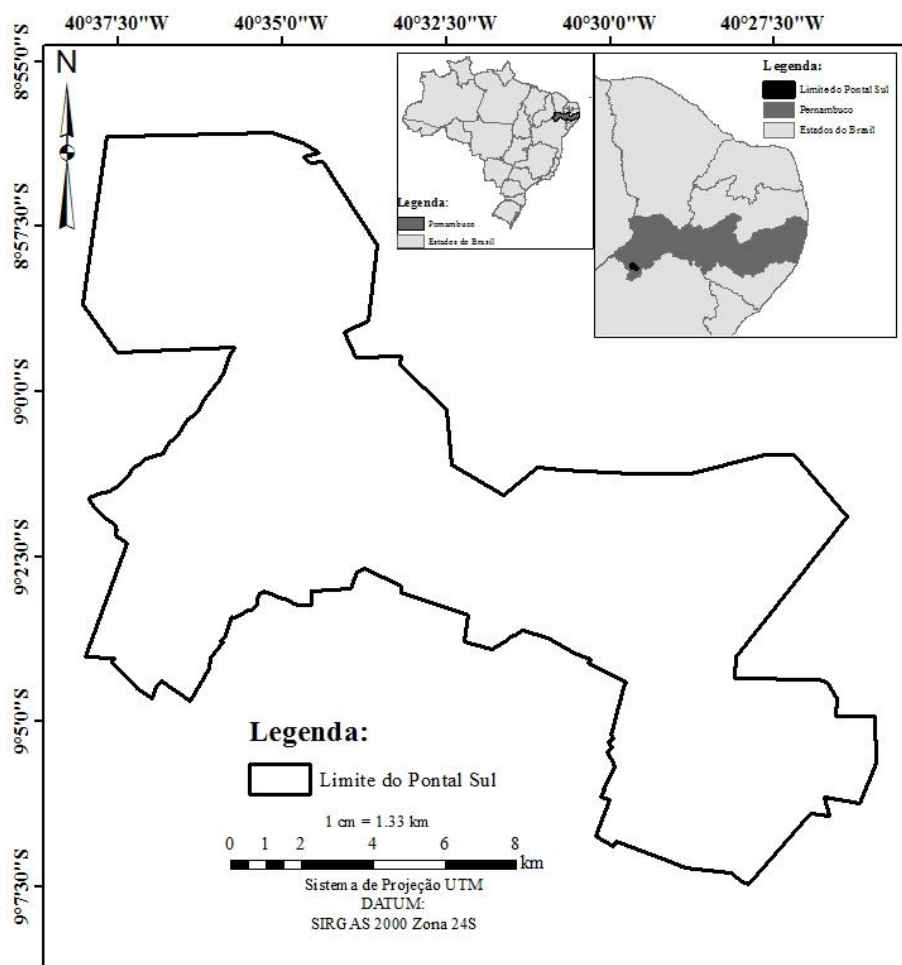


Figura 2. Mapa de localização geográfica da área de estudo, Perímetro de Irrigação Pontal Sul, Pernambuco.

Uso do solo

As imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8 são disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE. Para visualização da área total foram utilizadas duas cenas correspondentes as órbitas 217 e 218 ponto 066 (Figura 3). Para mapeamento da área foram utilizadas duas imagens, referentes aos períodos 17 de setembro de 2000 e 15 de outubro de 2000 e duas de 27 de julho de 2015 e 25 de agosto de 2015, respectivamente para os anos 2000 e 2015. As imagens foram obtidas no final do período de estiagem na região, com uma resolução espacial de 30 metros por pixel, na faixa visível, sendo trabalhadas na escala de 1:100.000. Segundo Freitas et al. (2012), cada pixel equivale a 0,09 hectares, correspondente a 0,0009 km².

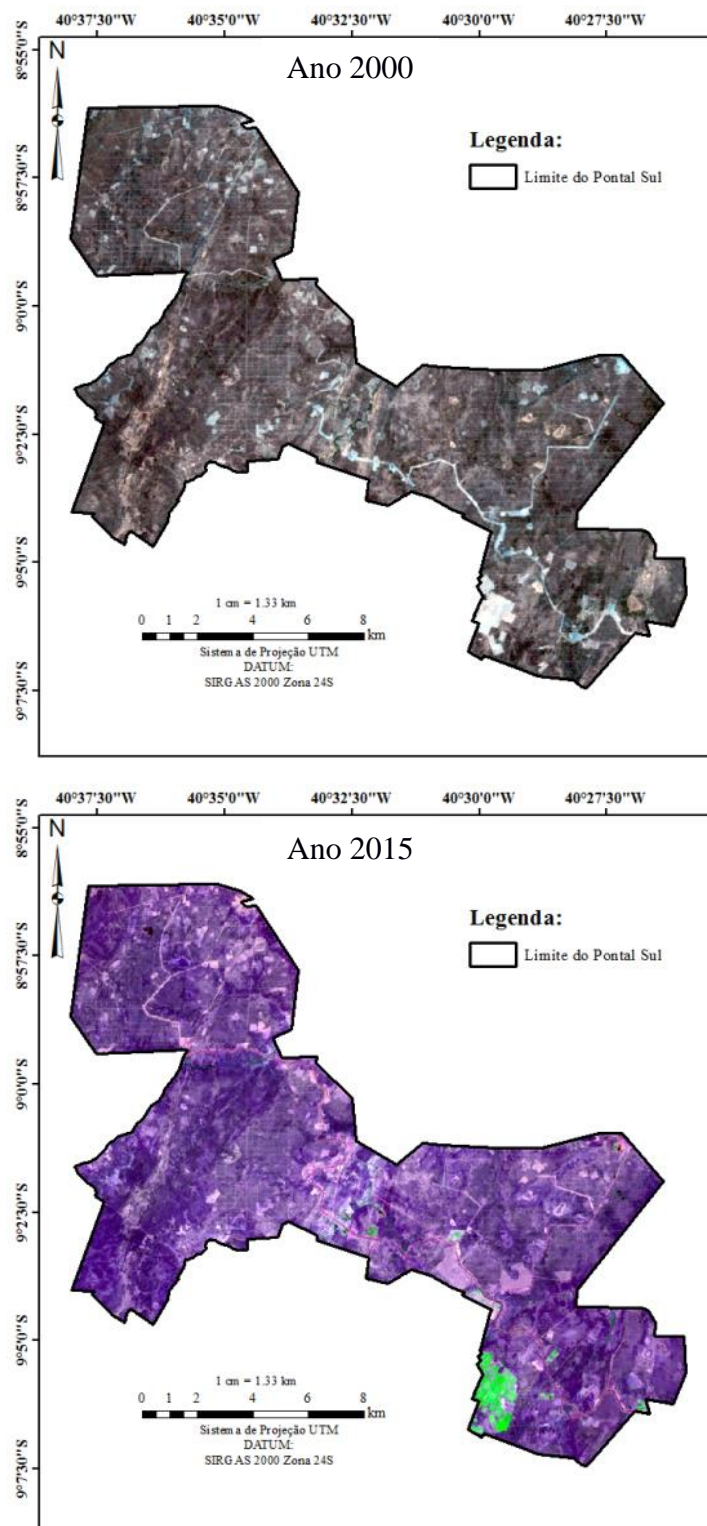


Figura 3. Imagens do satélite LANDSAT correspondente aos anos de 2000 e 2015, evidenciando mudanças do uso e da cobertura do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, entre os anos de 2000 e 2015, Pernambuco.

Para o processamento digital das imagens (PDI), foi feito uso do programa 9.2/ESRI (ARCMAP™, 2006), o qual possibilitou a confecção dos mosaicos na área do Perímetro de Irrigação Pontal Sul e, para uma melhor percepção interpretativa, realizou-se a composição colorida, por meio de técnicas de PDI, para tratamento de imagens. Tal técnica configura a seleção de três bandas, RGB, sendo atribuída a cada uma delas uma cor primária, assim também como o ajuste do histograma para ressaltar o contraste visual (RODRIGUES et al., 2004). Deste modo, para o sensor *Thematic Mapper do Landsat*, estabeleceu-se a composição TM (R - vermelho), TM4 (G - verde) e TM3 (B - azul).

As imagens de satélites foram unidas formando assim um mosaico, sendo posteriormente extraído o limite do perímetro desse arquivo do tipo *Raster*. Delimitado o Perímetro de Irrigação Pontal Sul, realizou-se a classificação do uso do solo pelo método multiespectral, conferindo cada pixel a uma categoria de um grupo de classes, iniciado pelo processo não supervisionado, onde os agrupamentos são completamente realizados pelo sistema, sendo utilizadas 20 classes.

As cenas de uso e ocupação do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, gerados por classificação supervisionada da imagem LANDSAT 5 e 8 (2000 e 2015), estão presentes na Figura 4. A classificação não supervisionada, em virtude do grande número de classes requer uma segunda classificação (reclassificação), que consiste em uma competição e comparação entre as classes. A área total estudada é de 191,22 km².

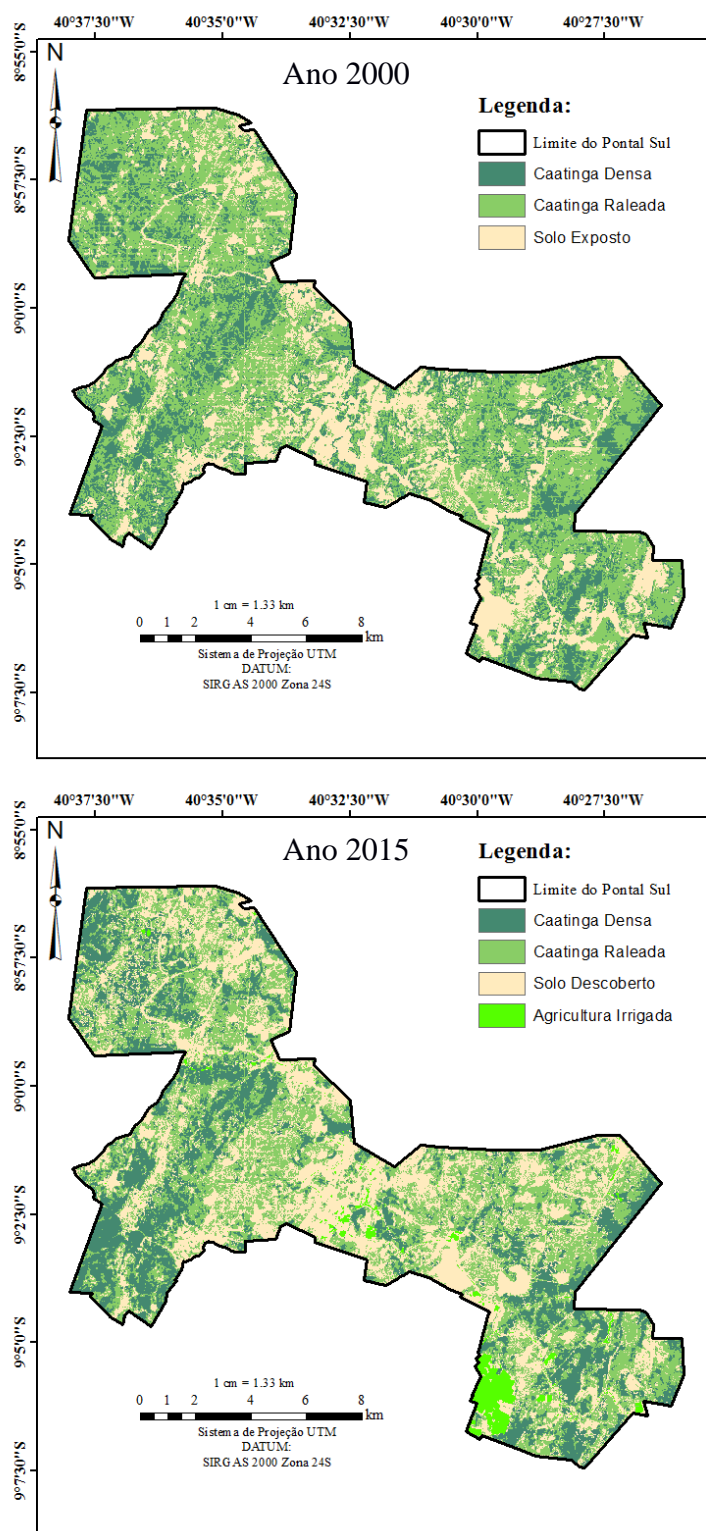


Figura 4. Classificação supervisionada, evidenciando mudanças do uso e da cobertura do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, entre os anos de 2000 e 2015, Pernambuco.

Em seguida a reclassificação foi realizada de modo supervisionado (Figura 4), onde ocorreu intervenção na identificação das classes. A área foi subdividida em duas macro-classes (áreas antropizadas e áreas naturais). Já as micro-classes selecionadas foram similares às de Namdar et al. (2014), na classificação de áreas Semiáridas, expostos na Tabela 1.

A Tabela 1 discrimina todas as categorias instituídas para geração dos mapas, assim como dos gráficos e porcentagens referentes a área total de estudo.

Tabela 1. Descrição da classificação e reclassificação do uso e cobertura do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.

Macro Classes	Micro Classes	Descrição
Área antropizada	Solo descoberto	Áreas expostas, estradas e áreas urbanizadas.
Área antropizada	Agricultura irrigada	Locais antropizados, com alguma cultura irrigada.
Área natural	Caatinga densa	Predomina Savana Estépica (Caatinga) Florestada
Área natural	Caatinga rala	Savana Estépica (Caatinga) Arbustiva.
Área natural	Água superficial	Espelho de água

Comparação de Programas

Para endossar e melhor qualificar o trabalho em questão, foi efetuada releitura das imagens pelo programa *IDRISI* (CLARK LABS, 2012) que, de modo similar ao programa *ArcGis*, realiza processamento de imagens, todavia com ênfase em função de análise, fornecendo ferramentas novas e eficazes na averiguação geográfica, que subsidiam a tomada de decisão para a prática da gestão ambiental, tanto de preservação quanto agrícola.

Tendência de uso do solo

O levantamento do uso e ocupação do solo, assim como a simulação de cenários para uma perspectiva de alterações futuras, permite uma melhor

gestão sobre a área pesquisada, ação essa de suma importância, devido ao desenvolvimento acelerado da população e concomitantemente do consumo (Tabela 2). A Tabela 2 discrimina a presença de setores, os quais estão distribuídos ao longo do perímetro na Figura 5, distribuição essa realizada pela CODEVASF, e materializado em arquivo tipo *Raster*, sendo que os lotes destinados ao pequeno produtor possuem uma extensão de cerca de 6 ha, já os lotes maiores, destinados ao cultivo comercial em larga escala, denominados pela Companhia como empresarial possuem de 20 a 40 ha. A utilização de alguns programas para organização de dados disponíveis contribui com o estudo em larga escala da área, norteando as práticas mais adequadas para um uso eficaz dos recursos naturais do espaço (XAVIER et al., 2015). Posteriormente, a partir da análise e comparação dos dois cenários em períodos de 2000 e 2015, realizou-se uma análise de tendência, a fim de conjecturar uma área em pleno funcionamento, já com canal instalado e seus lotes demarcados.

Através de análises das tendências espaciais e temporais, verificando a predisposição das áreas, por meio d evolução das imagens bitemporais (2000 e 2015), é possível identificar áreas cujo processo de mudança de uso da terra é significativo, bem como zonestar as tendências são positivas ou negativas, em critério de evolução.

Tabela 2. Distinção e quantificação dos setores classificados quanto ao uso e ocupação do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, área total 48,07 km²

Setor	Área (%)	Área (km ²)
Mancha Nova	2,91	1,40
Empresa	54,32	26,11
Lotes	42,77	20,56

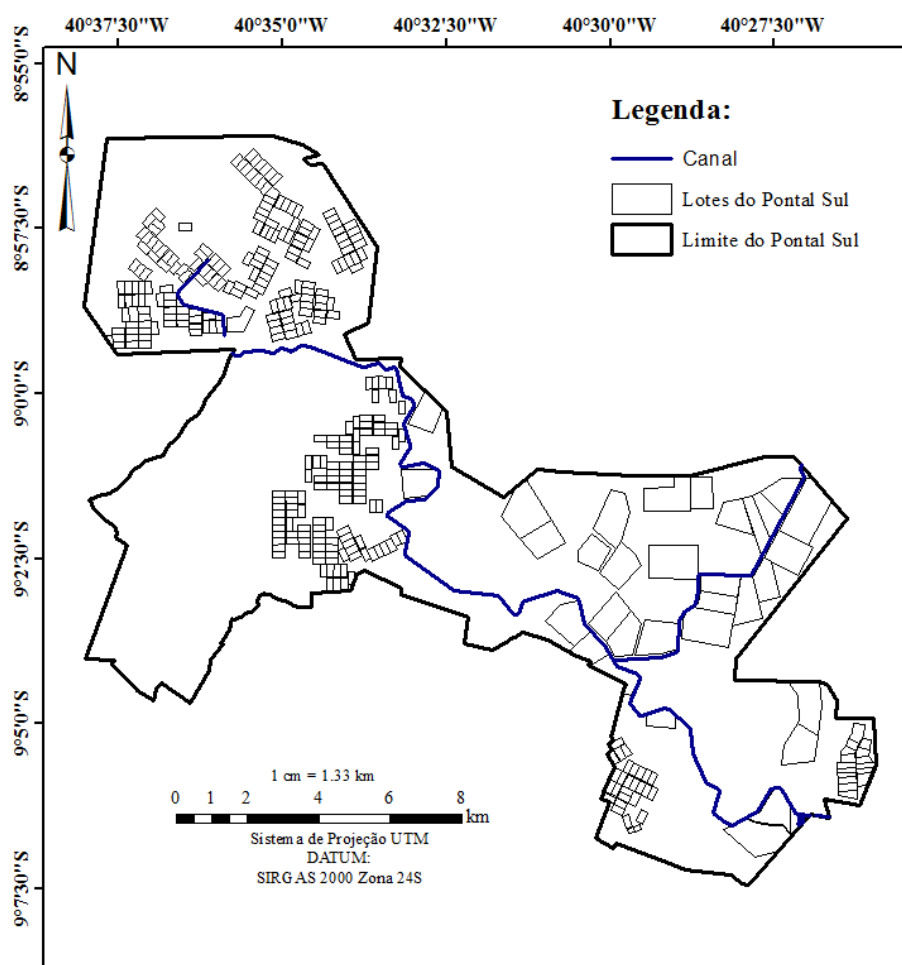


Figura 5. Mapa do limite do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, presente na Bacia do Pontal, em Pernambuco, expondo lotes e canais.

A descrição do uso do solo em uma perspectiva para os próximos anos fez uso de dados das áreas dos lotes (Tabela 2) e canais do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, cedidos pela CODEVASF no formato de arquivo do tipo vetorial (Figura 5). Tal caracterização faz referência ao período em que o perímetro entrará em funcionamento. O início das atividades agrícolas naquele perímetro está condicionado à concessão de alvará de supressão vegetal, advindo de órgão ambiental estadual (Agência Estadual de Meio Ambiente - CPRH) (CODEVASF 2014c).

A partir do funcionamento deste projeto de irrigação, todas as áreas que outrora pertenciam às diversas classificações de uso, como de solo descoberto e Caatinga, serão incluídas às classes de agricultura irrigada e água superficial. Assim sendo, foi computada a área dos lotes e canal, através do arquivo do tipo vetorial e confrontada, através de sobreposição, com a classificação de uso do solo no ano de 2015.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicação do Programa ArcGis

Em nenhuma das imagens foi feito o registro de água superficial e tal situação, possivelmente, ocorreu em decorrência de três hipóteses: 1 - qualidade desfavorável das imagens, dificultando assim a visualização dos supostamente pequenos reservatórios; 2 - o maior reservatório próximo presente na Bacia do Pontal encontra-se localizado fora do perímetro; 3 - em referência ao cenário do ano 2000, as magens foram obtidas no final do período seco, quando a precipitação (P) dos cinco meses anteriores à data das imagens foi de 22,20 mm em 5 meses, e a evapotranspiração de referência (ETo) acumulada no mesmo período foi de 1039,15 mm em 5 meses (Figura 6).

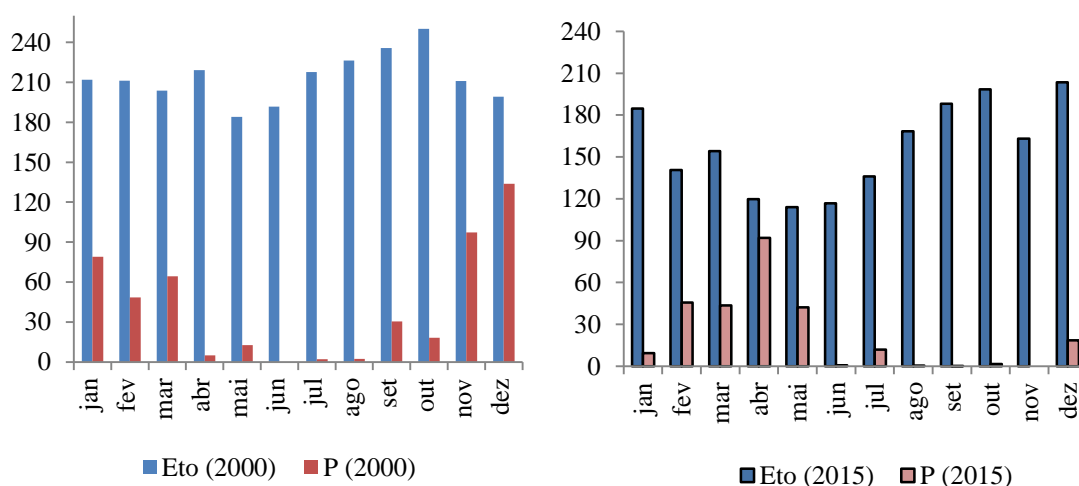


Figura 6: Valores de evapotranspiração de referência (ETo) e precipitação (P) mensal em milímetros (mm), registrados em 2000 e 2015, estação agrometeorológica da Embrapa Semiárido, situado no Perímetro de Irrigação de Bebedouro, em Pernambuco.

Ante a diversidade climática presente no Brasil e da influência negativa, que por vezes acomete o cultivo agrícola e, por consequência, a economia nacional, pesquisadores ligados a empresas de pesquisa e/ou universidades, passaram a desenvolver no país ferramentas que favorecem a sinalização e pontuação do local, período e cultivar mais apropriado para o plantio de cada cultura, nas diversas partes do país, com redução ou mesmo extinção de riscos. Tanto a Figura 7 quanto a Tabela 3 evidenciam a

ascensão da Caatinga densa, isto em virtude da implantação de áreas de reserva ambiental no perímetro, em concordância com o requisito constitucional na forma da Lei Federal 12.651/2012. Tal situação diverge de vários cenários de uso do solo em algumas bacias hidrográficas. Desmatamentos com fins urbanos e/ou agrícolas constituem um dos principais meios para degradação parcial ou total de áreas florestais (GANASRIA; DWARAKISH, 2015). Cunha et al. (2011) evidenciaram que a grande problemática no controle e preservação ambiental é consorciar, em uma mesma região, as questões econômica, social e ambiental, associando produção comercial e de subsistência com ações ecologicamente corretas. Isso corrobora com Fernandes; Barbosa e Moraes Neto (2013) que apontaram ações antrópicas como principal agente de devastação dos recursos naturais, requerendo assim intervenção governamental, para que áreas com princípio de degradação não tenham seus danos intensificados. Tal situação é evidenciada na Floresta Nacional da Chapada do Araripe (FLONA), que por ser uma área legalmente protegida, não apresenta densidade populacional mas, em sua periferia, o antropocentrismo impera, ocasionando inúmeros problemas ambientais (SÁ et al., 2014).

Tabela 3. - Quantificação das áreas classificadas, quanto ao uso e ocupação do solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, com área total de 191,22 km².

Classe/Ano	2000		2015	
	km ²	Área %	km ²	%
Caatinga densa	42,24	22,09	47,44	24,80
Caatinga raleada	97,83	51,16	74,77	39,11
Solo descoberto	51,15	26,75	64,33	33,64
Agricultura irrigada	0,00	-	4,68	2,45

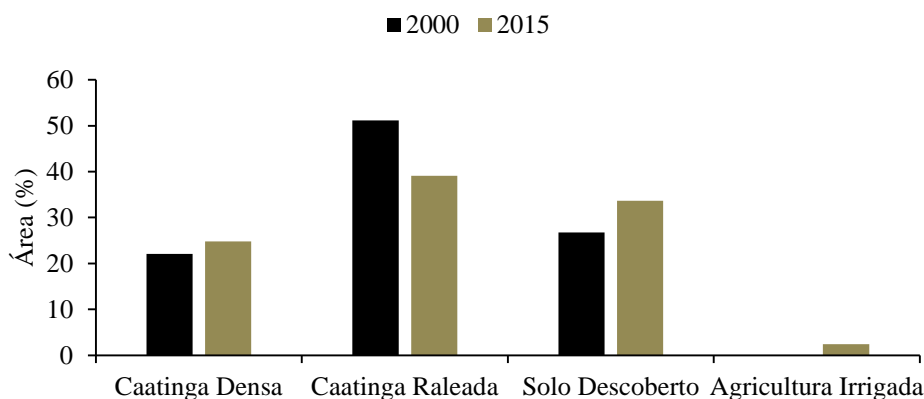


Figura 7. Transição espaço - temporal quanto à distribuição dos tipos de uso e ocupação do solo, no período de 2000 e 2015, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.

A Caatinga raleada passou por uma redução em área, o que pode estar relacionado com o período do processo de implantação do perímetro de irrigação. De acordo com CODEVASF (2014c), no ano de 2013 foi celebrado contrato, para área irrigada, de Concessão Direito Real de Uso (CDRU), por tempo similar a 45 anos.

A comparação das imagens (2000 e 2015) evidencia uma alteração percentual das áreas classificadas, havendo assim redução e, por vezes, expansão no tamanho dessas classes, ocorrendo uma modificação ou mesmo surgimento de outras classes. O mesmo foi observado por Muriithi (2016), estudando mudanças na cobertura do solo em áreas de sub-bacias, cujo registro das cenas, também ocorreu em período de seca.

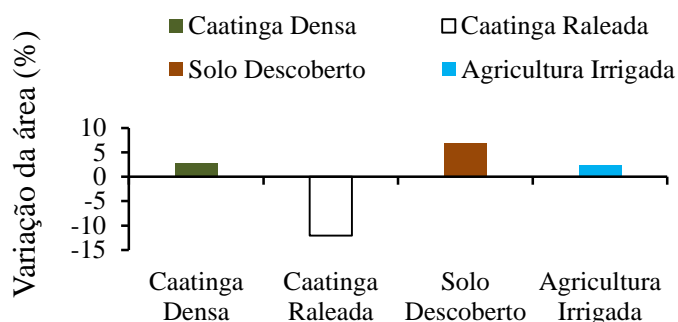


Figura 8. Variação no uso e ocupação da área, a partir de classificação supervisionada, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, entre os anos de 2000 e 2015, Pernambuco.

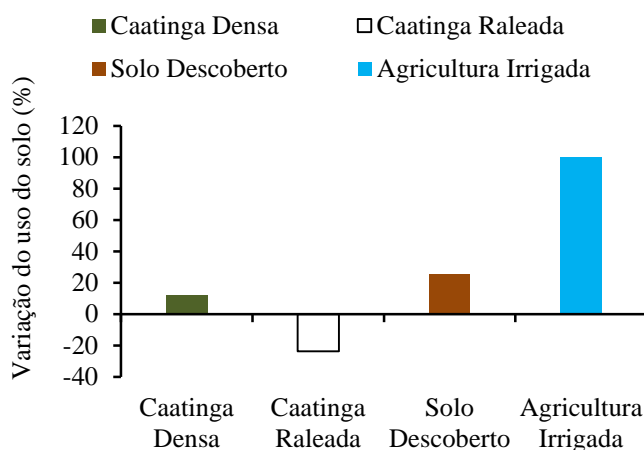


Figura 9. Variação da evolução percentual do uso e ocupação do solo, a partir de classificação supervisionada, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, entre os anos de 2000 e 2015, Pernambuco.

Os dois cenários evidenciam resquício gradativo da ação antrópica sobre a área de estudo (Figura 3), onde o solo descoberto apresentou uma evolução de 6,89% sobre a área total do perímetro; a agricultura irrigada fez-se presente apenas em 2015, ocupando 2,45% da área (Figuras 7, 8), progressão de 100% (Figura 9); e em contrapartida a caatinga raleada que outrora dominava 51,16% da área, o equivalente a 97,83 km², em 2015, evidenciou uma redução de 12,06%, sendo 2,72% dessa alterada pela Caatinga densa (Figura 8).

É possível extrair ainda da Figura 9 um acréscimo percentual de 12,31% da área com Caatinga densa e 25,76% da área ocupada com solo descoberto, ocasionando, em contrapartida a redução de 23,57% da área dominada com a Caatinga raleada.

De acordo com Freitas et al. (2012), o estudo do solo favorece sua identificação, verificação da distribuição espacial, quantificação e caracterização, facilitando assim a distinção das condições naturais na região e variações decorrentes da ação antrópica, tendo em vista a fragilidade da flora que reage de modo diferenciado e instantâneo as ações as quais são expostas. Zhang et al. (2014) e Mas e González (2015) afirmaram que, embora fazendo uso da informação digital (espectral) para classificação das áreas, a avaliação final, em decorrência de sua precisão, deve ser fornecida pela interpretação visual, isto em virtude da confusão espectral. Corrêa et al. (2009) sugeriram o uso da vegetação nativa como referência para estimativa do uso de solos juntamente com a

produção agrícola, isto em decorrência de serem os solos nativos menos passíveis de alterações que os solos já cultivados. As transformações no Perímetro de Irrigação Pontal Sul estão em sua maioria relacionadas ao uso antrópico, que a manutenção do natural. Tal caracterização auxilia no estudo da distribuição espacial dos atributos. O domínio das características de solos irrigados sob diferentes usos, em região semiárida, é fundamental para concepção, estacionamento e correção das atividades nocivas ao ambiente (CORRÊA et al., 2010). Sanchez et al. (2009) e Vaezi et al. (2010) acrescentaram que elementos advindos do mapeamento da distribuição espacial das variáveis do solo são subsídios na gestão das práticas de manejo e conservação do solo.

Com a análise dos cenários, espaçados em 15 anos, pressupõe-se diante da construção e ativação do canal no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, que os lotes serão implantados em áreas que na classificação atual abrange todas as classes (Figura 10). Apesar do quantitativo de área irrigável, extraído de arquivo do tipo vetorial da Codevasf (48,07km²), a empresa ainda anseia otimizar a área, aproveitando assim regiões não irrigáveis intercaladas e contorno das manchas irrigáveis, os chamados Pontal Sequeiro (CODEVASF, 2014 c).

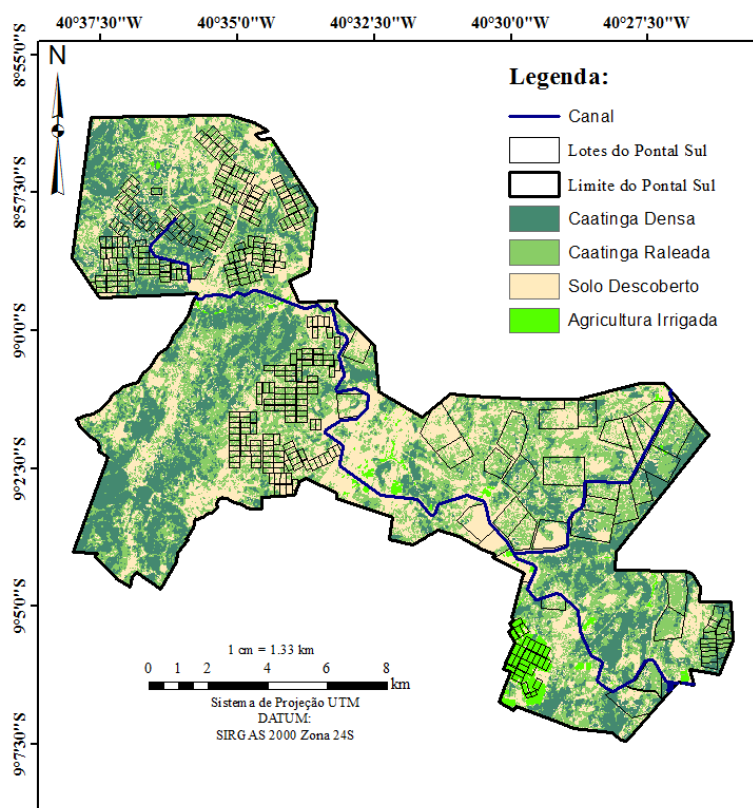


Figura 10. Perspectiva do uso do solo para o Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.

É possível também extrair das imagens uma nítida concentração dos lotes no entorno do canal, com a maioria das áreas sobre as classes solo descoberto e Caatinga raleada, o que pode estar vinculado à retirada da vegetação e, concomitantemente, ao retardo na ativação imediata da área, ocasionando deste modo a presença de remanescentes da Caatinga. Em uma maior proporção, na distribuição dos lotes, ocorre uma redução das áreas com Caatinga densa. Acredita-se que os poucos lotes demarcados, visivelmente sobre a classe de Caatinga densa, constitua à área de ‘Reserva Legal’, cláusula prevista na Lei Federal 12.651/2012, tenha com intuito a preservação da vegetação nativa do Bioma Caatinga.

Em uma análise prospectiva, os 48 km² da área irrigada que estarão em funcionamento em um futuro próximo, corresponderão a 100% da área destinada a irrigação no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, sendo que 25% desse total já é visível nas imagens trabalhadas. De acordo com o exposto no contrato de Concessão Direito Real de Uso (CDRU), estima-se que no mínimo um quarto da área irrigável seja destinado ao

assentamento do pequeno agricultor, visando, assim, inibir atuação latifundiária, permitindo ao micro produtor investir seu escasso recurso em meios produtivos, além de formar parcerias e ofertar amparo técnico comercial, assegurando escoamento de sua produção (CODEVASF, 2014c).

Divergindo do ArcGis, o IDRISI, além de classificar a área de acordo com seu uso e cobertura, ainda especifica através da análise das imagens, de períodos diferentes, a evolução e alteração entre as classes, explicitando a porcentagem e classe sucedida (Figura 11).

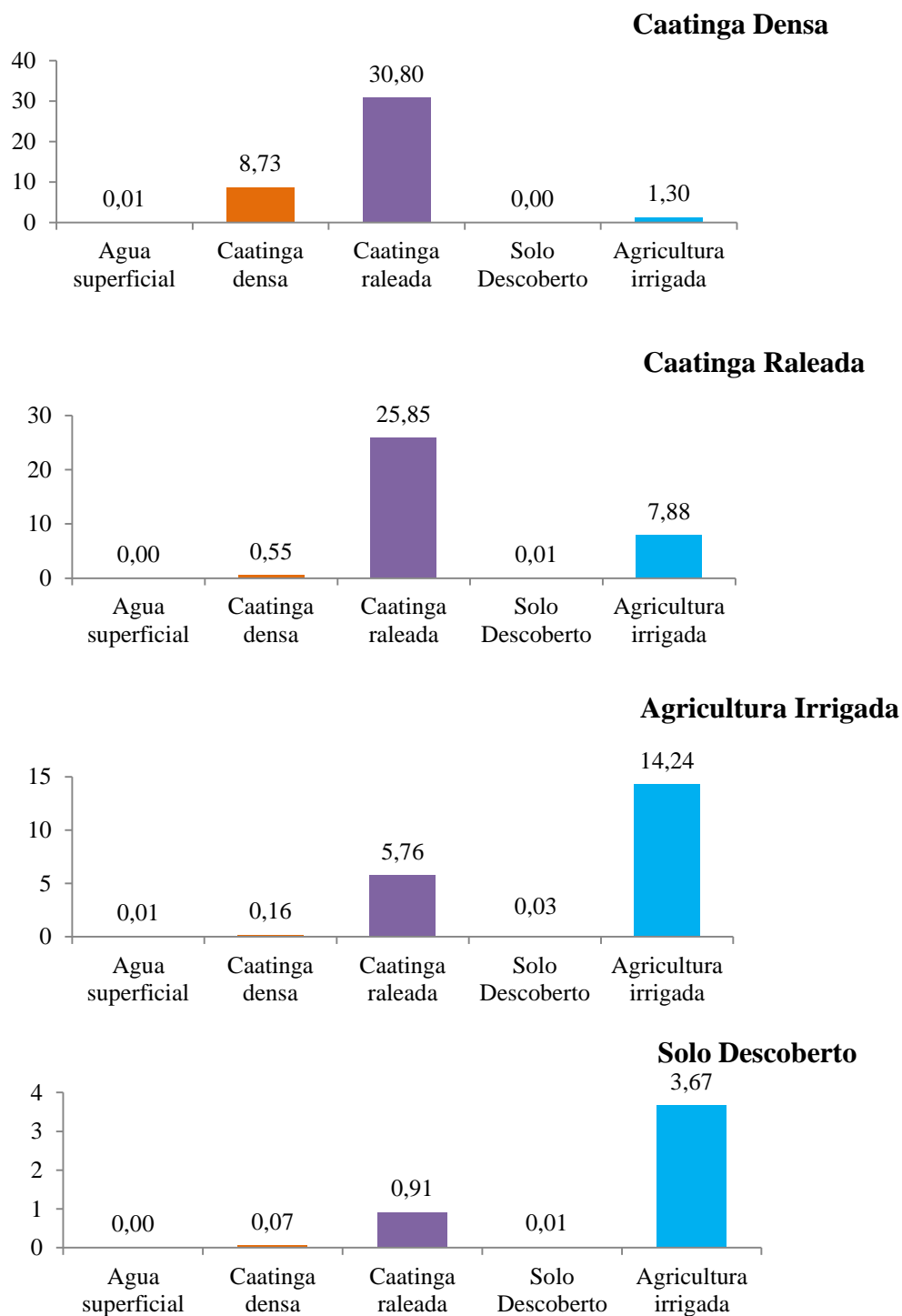


Figura 11. Porcentagem de área modificada, em transição espaço - temporal e quantificação das classes de solo, quanto seu uso e ocupação, no período de 2000 e 2015, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, pelo IDRISI.

Nas cenas em questão (Figura 11), é perceptível que no ano de 2015 a Caatinga densa recebeu um incremento de 61,40 km² em sua área, um percentual de 32,11%. Desses, 0,01% pertencia a água superficial, e de forma pouco comum, 1,30 % (2,48 km²) pertenceu à agricultura irrigada. A maior perda para Caatinga densa ocorreu na verdade da classe raleada, fator também atribuído às chuvas de 233,68 mm (Figura 6) ocorridas ao longo do semestre anterior aquisição das imagens. A Caatinga raleada teve um acréscimo de 16,15 km² (8,45%), sendo sua menor sobreposição no solo descoberto, com 0,01%. Todavia, embora evidenciando menor perda no intervalo de 15 anos, solo descoberto foi a classe de solo que apresentou menor ganho de área, 4,65%, o equivalente a 8,45 km², sendo áreas advindas principalmente da agricultura irrigada e Caatinga raleada, possivelmente em virtude de abandono de área, por falta de infraestrutura para permanência de prática agrícola e limpeza de área para posterior cultivo, ou mesmo outro tipo de uso. A agricultura irrigada teve um aumento de 5,96%, o que corresponde a 11,38 km² da área total. O perímetro conseguiu preservar 14,24% da classe agricultura irrigada, observada no cenário de 2015, totalizando uma extensão de 38,62 km², percentual de 20,20.

Comparação – Programa IDRISI

A classificação das, as mesmas imagens pelo *programa* IDRISI, identificou 0,02% de água superficial em 2000, o equivalente a 0,045 km². Todavia, nada foi registrado em 2015 (Tabela 4).

Tabela 4 – Alterações ocorridas entre as classes no uso e ocupação do solo, no período de 2000 a 2015, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, com área total de 191,22 km².

Classes	Variação (2000 - 2015)			
	ARC GIS		IDRISI	
	Km ²	%	Km ²	%
Água superficial	0,00	0,00	-0,045	-0,02
Caatinga densa	5,20	2,72	59,91	-31,33
Caatinga raleada	-23,06	-12,06	-55,51	-29,03
Solo descoberto	13,18	6,89	-13,20	-6,90
Agricultura irrigada	4,68	2,45	8,84	4,62

É possível, ainda, visualizar na Caatinga densa um crescimento de 1151,95% sobre o encontrado pelo ArcGis. Com relação às análises, ambos os programas evidenciaram redução da Caatinga raleada, contudo acredita-se que devido a maior eficiência de leitura visual, o programa IDRISI diferencia com maior nitidez as classes (Tabela 5).

Tabela 5 – Comparação dos SIGs (Sistema de Informação Geográfica) ocorrida entre as classes no uso e ocupação do solo, no período de 2000 a 2015, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, com área total de 191,22 km².

Classes	Variação: ArcGis - IDRISI			
	2000		2015	
	Km ²	%	Km ²	%
Água superficial	-0,045	-0,02	0,00	0,00
Caatinga densa	24,05	12,58	-30,66	-16,03
Caatinga raleada	-23,25	-12,16	9,20	4,81
Solo descoberto	-0,66	-0,35	25,71	13,45
Agricultura irrigada	-0,09	-0,04	-4,24	-2,22

Deste modo a classe de Caatinga raleada apresentou uma redução 240,71% superior ao visualizado pelo ArcGis. A classe Solo descoberto exibiu uma queda entre os anos, de 6,90%, valor exato ao evidenciado pelo ArcGis, entretanto, como evolução no mesmo período. Fato pode ser atribuído a uma variação das faixas de classificação dos pixels que, posteriormente, podem ter ficado mais visíveis na

reclassificação (Tabela 4). A agricultura irrigada é perceptível em ambos os cenários e evidencia um aumento de 188,84%, sobre o avanço também visualizado no ArcGis.

CONCLUSÕES

De acordo com interpretação dos dados, os resultados encontrados com a classificação permitiram a fragmentação, devido à fragmentação da área em diversas zonas, resultado do agrupamento das mesmas, considerando suas peculiaridades evidenciadas com a informação advinda de cada pixel;

Durante o intervalo de tempo estudado as classes de uso e ocupação do solo passaram por considerável transição entre as classes, e a agricultura irrigada, quase inexistente no primeiro cenário, apresentou contínua evolução;

Em uma visão prospectiva dos cenários, os lotes serão demarcados sobre todos os tipos de classes, atualmente presentes no perímetro de irrigação, os quais serão alterados em sua totalidade, sendo sucedidas pela agricultura irrigada;

O IDRISI, em comparação ao ArcGis, demonstrou melhor resolução e eficácia na projeção dos dados, caracterizando e quantificando todas as classes em ambos os cenários, além de sinalizar sua sucessão;

O IDRISI comprovou presença de Agricultura irrigada em ambos os cenários e água superficial apenas em 2000, enquanto o ArcGis, contrariamente, apenas pontuou o foco de água superficial em 2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCMAP™. ARCGIS. Licence type: Desktop. Version 9.2: ESRI® Inc., Copyright 1999-2006. **CD-ROM**.

CLARK LABS. IDRISI Selva Service Update to 17.02. 2012. Disponível em: <<http://www.clarklabs.org/>>. Acesso em: 04 mar. 2016.

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Novo perímetro irrigado do Vale do São Francisco tem ritmo de implantação acelerado. Brasília,

DF, 2014a. Disponível em:< <http://ppp-projetopontal.codevasf.gov.br/licitacoes/ppp-projetopontal> >. Acesso em: 10 mar. 2015.

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Novo perímetro irrigado do Vale do São Francisco tem ritmo de implantação acelerado. Brasília, DF, 2014b. Disponível em:< <http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/pontal>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Novo perímetro irrigado do Vale do São Francisco tem ritmo de implantação acelerado. Brasília, DF, 2014c. Disponível em:<<http://www.codevasf.gov.br/noticias/2014/novo-perimetro-irrigado-do-vale-do-sao-francisco-tem-ritmo-de-implantacao-acelerado>>. Acesso em: 10 mar. 2015.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R. V.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.1, p.64-72, Campina Grande, 2014.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.4, p.358–365, 2010 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. S.; FERREIRA, R. L. C.; FREIRE, F. J.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M.; Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.305- 314, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000200008>

CUNHA, T. J. F.; SÁ, B.; OLIVEIRA NETO, M. B.; TAURA, T. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; GIONGO, V.; SILVA, M. S. L.; DRUMOND, M. A.. Uso Atual e Quantificação de

Áreas Degradadas na Margem Direita do Rio São Francisco no Município de Curaçá-BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.6, p. 1197 – 1212, 2011.

EMBRAPA. Registro de observações meteorológicas. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012. Disponível em <www.embrapa.br/semiárido>. Acesso em: 28 mar. 2012

FERNANDES, F.; BARBOSA, M. P.; MORAES NETO, J. M. Caracterização do Uso das Terras e das Áreas em Riscos de Desertificação em Parte da Floresta Nacional do Araripe (FLONA): Municípios de Barbalha e do Crato, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Vol. 06, n 5, p.1476-1498, 2013.

FREITAS, D. M.; DELGADO, R. C.; RODRIGUES, R. A.; SOUZA, L. P. Variabilidade espaço-temporal na mudança da paisagem no município de Acrelândia, AC. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; p. 9 3 5 – 2012.

GANASRI, B. P.; DWARAKISH, G. S. Study of land use/land cover dynamics through classification algorithms for Harangi catchment area, Karnataka State, INDIA. **Aquatic Procedia**, v.4, p. 1413 – 1420, 2015.

KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. Trans. 6t h comm. Intern. **Society Soil Science**, Moscou, Part A., 17-21, 1932.

LAGO, W. N. M.; LACERDA, M. P. C.; NEUMANN, M. R. B.; BORGES, T. D. Ocupação e adequação do uso das terras na microbacia do Ribeirão Extrema, Distrito Federal – Parte II. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.3, p.289–296, 2012.

MAS, J. F.; GONZÁLEZ, R. Change detection and land use / land cover database updating using image segmentation, gis analysis and visual interpretation, The International Archives of the Photogrammetry, **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, XL-3/W3, 61-65, doi:10.5194/isprsarchives-XL-3-W3-61-2015, 2015.

MURIITHI, F. K. Land use and land cover (LULC) changes in semi-arid sub-watersheds of Laikipia and Athi River basins, Kenya, as influenced by expanding intensive commercial Horticulture. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. V.3, p. 73 – 88, 2016.

NAMDAR, M.; ADAMOWSKI, J.; SAADAT, H.; SHARIFI, F.; KHIRI, A. (2014). Land-use and land-cover classification in semi-arid regions using independent component analysis (ICA) and expert classification. **International Journal of Remote Sensing**. V.35, n.24, p. 8057, 2014.

RODRIGUES, E.; CAINZOS, R. L. P.; QUEIROGA, J.; HERRMANN, B. C. Conservação em paisagens fragmentadas. In: CULLEN JUNIOR, L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PUDUA, C. (Org.). Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. Curitiba: **UFPR/Fundação o Boticário de Proteção à Natureza**, p. 481-511, 2004.

SÁ, I. B.; CUNHA, T. J. F.; TAURA, T. A.; DRUMOND, M. A. Mapeamento da desertificação da mesorregião Sul do Ceará com base na cobertura vegetal e nas classes de solos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.07, n.03, 572-583, 2014.

SANCHEZ, R. B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SOUZA, Z. M.; PEREIRA, G. T.; MARTINS FILHO, M. . Variabilidade espacial de atributos do solo e de fatores de erosão em diferentes pedoformas. **Bragantia**, v.68, p.1095-1103, 2009.

TEIXEIRA, A. H. C. Informações agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE / Juazeiro, BA - 1963 a 2009. Petrolina: **Embrapa Semiárido**, 2010.

VAEZI, A. R. BAHRAMI, H. Á.; SADEGHI, S. H. R.; MAHDIAN, M. H. Spatial variability of soil erodibility factor (K) of the USLE in north west of iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v.12, p.241-252, 2010.

XAVIER, R. A.; GAUER, N. P.; WEISS, C. V. DA C.; CARDOSO, O. R. Proposta de Classificação de Uso do Solo para Avaliar Pressões (Método RAPPAM) em uma Unidade

de Conservação no Sul do Brasil. **Scientia Plena** vol. 11, num. 02, 2015. <
www.scientiaplenu.org.br>, Acesso em: 23 dez 2015.

ZHANG, Z.; WANG, X.; ZHAO, X.; LIU, B.; YI, L.; ZUO, L.; WEN, Q.; LIU, F.; XU, J.;
HU, S. A 2010 update of National Land Use/Cover Database of China at 1:100000 scale
using medium spatial resolution satellite images. **Remote Sensing of Environment**. V.149
p.142–154, 2014.

3. CAPÍTULO II

CALIBRAÇÃO DE MODELO DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO DO PERÍMETRO DE IRRIGAÇÃO PONTAL SUL

INTRODUÇÃO

O Brasil, ainda que privilegiado pela abundância de água doce superficial, apresenta irregularidade de sua distribuição, principalmente, na Região Nordeste.

Diversas pesquisas sinalizam as alterações climáticas como grande interventor do ciclo hidrológico, interferindo por vezes na oferta e demanda hídrica para a agricultura, uma vez que a mesma está vinculada à evaporação e à precipitação (BRSCAN, 2014).

Na Bacia do rio Pontal, no Semiárido pernambucano, há dois perímetros de irrigação, Pontal Norte e Sul, com captação de água no Rio São Francisco, da ordem de 7,8 m³/s, com uma área total de 7,7 mil hectares. Nesses perímetros são escassas as informações relacionadas aos atributos físico-hídricos do solo, fundamentais para subsídio ao uso de água nas propriedades rurais.

Sabe-se que o conhecimento da dinâmica da água no solo é de suma importância para o homem. A eficiente gestão das fontes hídricas requer um maior controle sobre a infiltração de água no solo, visto que tal ação previne ou minimiza situações como risco de erosão (DWOMOH; SHOUQI; HONG, 2014), inundação, contaminação das águas, ineficácia dos sistemas de irrigação, drenagem, manejo do solo e da água inadequado (DANTAS et al., 2011; JOSÉ et al., 2013; AL-KAYSSI; MUSTAFA, 2016), favorecendo assim a estimativa do volume de água infiltrado e perdido por escoamento superficial, o que contribui com a evolução socioeconômica e ambiental.

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de grande relevância na gestão do solo e da água, pois além de evidenciar o cenário real de aeração e retenção da água nesse solo, contribui na definição do sistema de irrigação e drenagem a ser utilizado na área (GONDIM et al., 2010; FAGUNDES et al., 2012; AL-KAYSSI E MUSTAFA, 2016; SAYAH, GIL-RODRÍGUEZ, JUANA, 2016). Em um projeto de irrigação, a VIB é um dos critérios utilizados para definição do tipo de emissor, visto que a mesma evidencia a intensidade de aplicação tolerada por um solo em específico. Diversas metodologias são utilizadas para descrever o processo de infiltração de água no solo, sendo esses modelos teóricos, baseados em considerações físicas e modelos empíricos, com parâmetros relacionados às propriedades do solo, sem que estes tenham necessariamente significado físico (BRANDÃO et al., 2006). De acordo com Pruski et al. (1997) e Cunha et al. (2009), a infiltração da água no solo deve ser averiguada através de técnicas simples, aptas a representar de forma adequada a situação real do solo, naquele momento. Dentre as técnicas de campo, o infiltrômetro de anel ou anéis concêntricos é um dos métodos mais utilizados, devido a sua simplicidade e praticidade.

Os modelos empíricos são constituídos de parâmetros, cujos valores podem ser encontrados a partir de equações teóricas ou por estimativa, através de regressão dos dados de infiltração adquiridos em campo (TOMASINI et al., 2010). A taxa de infiltração é utilizada para calibrar modelos matemáticos, aplicados no planejamento e gestão de sistemas de irrigação e preservação do solo e fontes hídricas (BRANDÃO et al., 2006). Dentre os modelos mais utilizados estão o de Kostiakov (equação potencial) e Kostiakov – Lewis.

Segundo Netto et al. (2013) e Brandão et al. (2006), o modelo de Kostiakov está restrito a disponibilidade de dados de infiltração observados no local para determinação dos parâmetros da equação, não podendo ser aplicada a outros tipos de solo e condições diferentes das quais os mesmos foram obtidos. Esse modelo também apresenta valor de infiltração inicial tendendo ao infinito e, para tempo longo a taxa de infiltração, tende a um valor próximo à zero, o que pode limitar sua aplicação para condições de infiltração no sentido vertical. Contudo, para maioria do intervalo de tempo adotado na irrigação, a equação de Kostiakov tem sido considerada adequada para a determinação da taxa de infiltração da água no solo (HILLEL, 1980).

A equação de Kostiakov – Lewis foi proposta para eliminar a limitação da equação de Kostiakov, neste caso os parâmetros k (constante dependente do

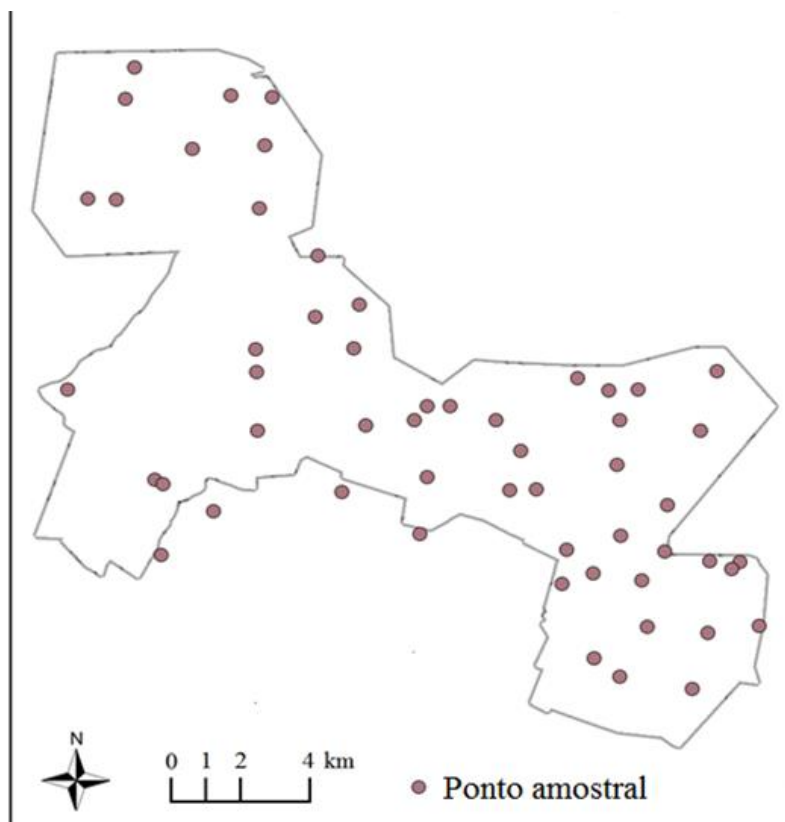
solo) e α (constante depende do solo, variando de 0 a 1) da equação de infiltração são mensurados por regressão linear. Todavia, em ambas as equações o teor de umidade inicial do solo não é tido como relevante. Devido à escassez de dados de infiltração da água no solo no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, necessários ao gerenciamento e manejo dos recursos hídricos, bem como da demanda de selecionar modelos para a definição da equação de infiltração, busca-se identificar uma técnica que melhor represente os dados de infiltração obtidos em campo.

O objetivo deste capítulo é ajustar os dados de infiltração da água no solo, por dois diferentes modelos e compará-los, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Petrolina-PE.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, com área total de 3,7 mil hectares (CODEVASF 2014a), localizado no Submédio do Vale do São Francisco, Estado de Pernambuco, cujas coordenadas geográficas são 8°25' de latitude sul e 40°15' de longitude oeste (CODEVASF, 2014b). Predomina na região o clima Semiárido, classificado de acordo com Köppen, como BSw^h (Teixeira, 2010), caracterizado como quente e seco, com volume de chuva escasso e irregularmente distribuído, sendo sua concentração no período de dezembro a março. Também de acordo com CODEVASF, (2014a), as classes de solos presentes na área do Pontal são Argissolo, Latossolo e Cambissolo.

Para realização do trabalho utilizou-se a caracterização edafoclimática da área do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, realizada por Ramos (2012), através de análise de variabilidade espacial das frações granulométricas nas camadas de 0,00 - 0,20 m e 0,20 - 0,40 m de profundidade. Foram georreferenciados 55 pontos (Figura 12), com equipamento de GPS Garmin 60CSx, sendo os pontos escolhidos e, a partir da classificação de solos realizada pela Embrapa (2000), distribuídos de modo a conseguir uma representação de toda a área (LIMA et al., 2015).



Fonte: Banco de dados de Ramos, C. M. C.

Figura 12. Limite do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, com demarcação dos 55 pontos amostrados.

Foram selecionados 21 pontos dos 55 georreferenciados, sete pontos por zona homogênea (Figura 13), caracterização efetuada por Lima et al. (2015), através da técnica de agrupamento fuzzy c-means, onde foram realizadas diferentes combinações dos atributos físico-hídricos, realizados através da análise de solo, coletado nos mesmos pontos georreferenciados. Nestes também, foram realizados os testes de infiltração da água no solo pelo método dos anéis concêntricos (Figura 14), cuja metodologia está discriminada em Bernardo; Soares e Mantovani (2009).

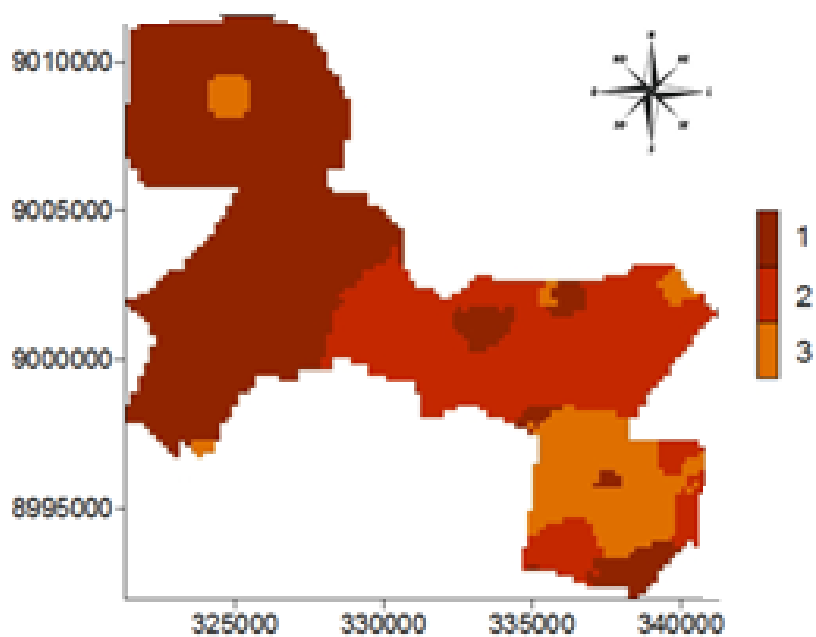


Figura 13. Zonas homogêneas do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco, resultado da combinação dos atributos físicos do solo areia total, silte, argila, densidade do solo e porosidade total e velocidade de infiltração básica de água no solo (VIB), extraído de Lima (2016).



Figura 14. Teste de infiltração de água no solo pela metodologia dos anéis concêntricos, (A) anéis sendo fincados ao solo e (B) anéis preenchidos com água, teste em andamento.

Inseridos no solo a lâmina de água foi mantida a uma mesma altura, entre os anéis. O anel maior deve ter sua lâmina repostada, conjuntamente com o anel menor, para garantir que o processo de infiltração seja prioritariamente no sentido vertical e, conseqüentemente, não ocorra movimento lateral da água infiltrada a partir do anel

menor. Para realização das leituras, foi feito uso de régua milimétrica, parte constituinte do anel interno. Nos dez primeiros minutos, as leituras foram feitas a cada minuto e, posteriormente, passaram a ser feitas a cada 5 minutos. O procedimento foi finalizado com a estabilização das leituras, situação comprovada com três repetições do resultado.

Após a conclusão de cada teste de infiltração, fez-se a amostragem de solo com estrutura deformada, na camada de 0,00 - 0,20 m, para a determinação da umidade, densidade e granulometria do solo no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Embrapa Semiárido. Sendo a granulometria (areia, silte e argila) determinada pelo método do densímetro e a densidade do solo pelo método da proveta (DONNAGEMA et al., 2011)

Os valores de lâmina de água acumulada no solo (I) foram ajustados por regressão em função do tempo de teste (T), sendo feito o uso dos modelos empíricos de Kostiakov (1932), Kostiakov – Lewis (Kostiakov – modificado).

O modelo de Kostiakov, para determinação dos coeficientes k e α , pode ser descrito pela Equação 1.

$$I = k \cdot T^\alpha \quad (1)$$

em que:

I = infiltração acumulada (cm);

k = constante dependente do solo;

T = tempo de infiltração (min);

α = constante dependente do solo, variando de 0 a 1.

A velocidade de infiltração é dada pela Equação 2.

$$VI = k\alpha T^{\alpha-1} \quad (2)$$

O modelo de Kostiakov – Lewis (Kostiakov – modificado) é dado pela Equação 3.

$$I = kt^\alpha + VIB * t \quad (3)$$

em que:

I = infiltração acumulada no tempo t (L);

t = tempo decorrido desde o início do processo (T);

k = parâmetro específico de cada solo, sendo k, a capacidade de infiltração no tempo 1, variando em função da umidade do solo, especificamente na superfície.

α = medida da taxa de decréscimo de I, com o tempo variando entre 0 e 1.

Ambos os parâmetros foram estimados através de regressão linear, fazendo uso de conversão logarítmica da equação de infiltração, evidenciando arranjo dos tempos (Equação 4).

$$\log (I - VIB.T) = \log k + \alpha \log T \quad (4)$$

Ainda, segundo Netto et al. (2013), com esse arranjo (Equação 5), os coeficientes permanecem os mesmos utilizados na equação anterior. Todavia, sendo a equação corrigida, passando a taxa de infiltração (TI) a tender a VIB, a equação não considera a umidade inicial do solo. Deste modo o ensaio de infiltração deve ser realizado quando o solo estiver com teor de umidade médio, o que ameniza o problema (CARVALHO; SILVA, 2006).

$$Y = \log . (I - VIB . T) \quad (5)$$

Como o método da regressão linear só pode ser aplicado para equações lineares, inicialmente a equação de infiltração, que é uma equação exponencial, deverá ser transformada em uma equação linear. Para isso, basta aplicar as operações logarítmicas (Equação 6) correspondentes à equação de infiltração (CARVALHO; SILVA, 2006).

em que,

I – infiltração acumulada (cm);

T – tempo de infiltração acumulado (min).

$$\log I = \log k + \alpha \log T \quad (6)$$

originando a Equação 7

$$Y = A + BX \quad (7)$$

em que

$$\begin{aligned} Y &= \log I \\ A &= \log K \\ B &= \alpha \\ X &= \log T \end{aligned}$$

sendo os parâmetros A e B, definidos pelas Equações 8.

$$A = \frac{\sum X \sum XY - \sum X^2 \sum Y}{(\sum X)^2 - m \sum X^2} \quad B = \frac{\sum X \sum Y - m \sum XY}{(\sum X)^2 - m \sum X^2} \quad (8)$$

em que

m - número de pares de dados infiltração e tempo;

K - antilog A, sendo k - 10^A

Embora a VIB possa ser facilmente determinada por técnicas de campo, por meio de alguns equipamentos, sua execução demanda tempo e condições favoráveis, deste modo foi confeccionada uma Tabela que auxilia na classificação do solo para determinada VIB (SILVA; KATO, 1998). Conforme VIB, o solo pode ser classificado (Tabela 6).

Tabela 6. Classificação do solo, de acordo com a velocidade de infiltração básica.

Classificação	Parâmetro (cm h ⁻¹)
Baixa	VIB < 0,5
Média	0,5 < VIB < 1,5
Alta	1,5 < VIB < 3,0
Muito Alta	VIB > 3,0

Fonte: Bernardo; Soares e Mantovani (2009).

Bernardo; Soares e Mantovani (2009), também fazem uso da VIB para classificar o solo quanto a textura (Tabela 7).

Tabela 7. Classificação da textura do solo, de acordo com a velocidade de infiltração básica (VIB), proposta por Bernardo; Soares e Mantovani (2009).

Textura	Parâmetro (cm h ⁻¹)
Arenosa	2,5 < VIB < 25
Franco-arenosa	1,3 < VIB < 7,6
Franco-arenosa-argilosa	0,5 < VIB < 2,0
Franco-argilosa	0,25 < VIB < 1,5

Fonte: Bernardo; Soares e Mantovani (2009).

As equações de infiltração da água no solo do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, após ajuste pelos diferentes modelos, foram comparadas aos dados de campo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os ensaios em campo, observou-se gradativa redução da infiltração da água no solo, em todos os pontos amostrados. Alves Sobrinho et al. (2003) afirmaram, que o processo de infiltração, considerando solo seco ou com baixa umidade, apresenta inicialmente uma elevada taxa de infiltração, o que decresce com a evolução do

tempo, tornando-se constante com a saturação do solo, ou seja, atingindo a velocidade de infiltração básica (VIB).

A Tabela 8 expõe os dados obtidos, nos diferentes pontos amostradas, como valores de infiltração da água no solo, nos períodos de 20, 40, 60 e 80 minutos e parâmetros característicos do solo (k , α) para os respectivos modelos estudados.

Tabela 8. Valores de infiltração da água no solo, adquiridos por metodologia do infiltrômetro de anéis concêntricos, provindos de tempos diferentes de ensaio e parâmetros dependentes do solo, para confecção das equações de velocidade de infiltração (VI) e infiltração acumulada (I) de água no solo, pelos métodos de Kostiakov e Kostiakov Modificado.

Pontos	Zonas	Taxa de Infiltração (mm min^{-1})				Parâmetros	
		20	40	60	80	k	A
1	3	4,8	4,8	5,2	5,2	11,1	0,8
6	3	3,6	3,6	3,6	3,4	12,7	0,7
7	3	2,2	2,4	1,8	2,2	9,5	0,7
8	3	5,8	5,4	4,8	5,2	9,0	0,9
10	2	2,8	2,6	2,4	-	5,2	0,9
12	3	6,4	6,6	6,6	-	13,5	0,8
13	2	6,2	6,0	6,0	5,8	14	0,8
16	2	5,2	5,4	5,2	5,0	8,9	0,9
19	2	6,4	6,4	6,2	-	14,9	0,8
21	2	4,0	3,4	3,4	-	11,5	0,7
27	2	5,2	5,2	5,0	-	12,6	0,8
28	1	6,2	6,0	5,6	-	14,1	0,8
33	1	9,0	9,2	9,0	-	19,2	0,8
35	1	9,8	9,2	8,6	7,8	14,4	0,9
36	1	12	11,0	10,8	10,8	25,2	0,8
38	3	3,2	3,0	3,0	-	5,7	0,9
41	1	5,4	5,6	5,6	-	8,3	0,9
49	1	5,0	4,4	4,2	4,0	12,9	0,8
53	1	6,4	6,0	-	-	13,3	0,8
57	2	5,6	5,8	5,4	5,2	18,8	0,8
63	3	4,2	3,6	3,4	3,8	6,9	0,9

Para otimização dos resultados e sua melhor interpretação, foi utilizado zoneamento do perímetro realizado por Lima et al. (2015) onde, através da combinação de técnicas de agrupamento fuzzy c-means e geoestatística, foi realizada

caracterização e subdivisão da área em três zonas (Figura 13), de acordo com combinação dos atributos areia total, silte, argila, densidade do solo (DS), porosidade total (PT) e a velocidade de infiltração básica (VIB) de água no solo.

A Figura 13 apresenta as zonas homogêneas definidas, através da combinação dos dados interpolados dos atributos físicos - hídricos do solo, areia, silte, argila, (DS), (PT) e VIB. Estes foram gerados a partir da técnica de agrupamento FCM. De acordo com resultado encontrado por Lima et al. (2016) e Lima (2016), evidenciado na Figura 13, foi encontrado maior concentração de areia na zona 1, já a fração argila ficou mais evidente na zona 3, a DS e a PT apresentaram comportamento inverso, já a VIB, foi maior na zona 1 e menor na zona 3.

A avaliação dos resultados da VIB, através da classificação proposta por Bernardo; Soares e Mantovani. (2009), para o Perímetro de Irrigação Pontal Sul apresentou em toda sua extensão valores muito altas, com média de $40,46 \text{ cm h}^{-1}$, $24,59 \text{ cm h}^{-1}$ e $24,79 \text{ cm h}^{-1}$, respectivamente, nas zonas 1, 2 e 3 (Figura 15).

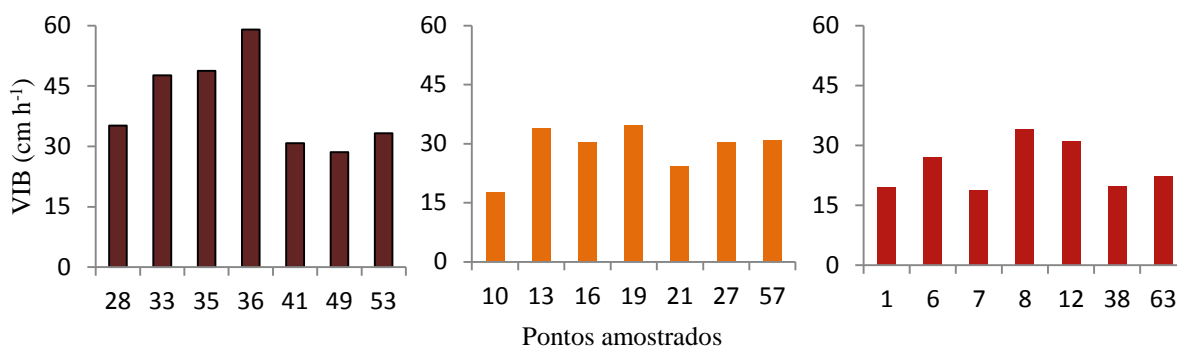


Figura 15. Velocidade de infiltração básica de água no solo (VIB), obtida por metodologia de anéis concêntricos, amostrados em 21 pontos no Perímetro de Irrigação Pontal Sul.

Seguindo a classificação textural, especificada por Bernardo; Soares e Mantovani (2009), 28,58% dos pontos analisados apresentam VIB correspondente ao categorizado como arenoso e os demais pontos extrapolam os 25 cm h^{-1} , valor máximo evidenciado pelos autores para textura arenosa. De acordo com banco de dados de Correia et al. (2015) e Lima et al. (2015), os maiores teores de areia foram encontrados na zona 1, da Figura 13, ocorrendo uma inversão quanto aos teores de silte, enquanto a maior

concentração de argila ocorreu na zona 3, sendo seus teores não diferenciados, quando comparados a zona 2.

A variação espacial da distribuição e diferenciação granulométrica na área do perímetro ocasiona a redução de aproximadamente 34% da VIB nas zonas 2 e 3, uma vez que maiores teores de argila implicam em maior presença de microporos, ocasionando maior retenção da água e, conseqüentemente, menor infiltração. Desse modo, uma camada com maior quantidade de argila tem sua infiltração reduzida, concomitantemente a saturação do solo (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000). Mellek et al. (2014), pesquisando infiltração em um Cambissolo de textura argilosa, afirmaram ainda que solos arenosos devido a sua macroporosidade, apresentam elevada condutividade hidráulica e velocidade de infiltração, quando comparados com solos argilosos. Gondim et al. (2010), também atribuíram a textura arenosa do solo pesquisado, ao alto valor (10,9 cm h⁻¹) da VIB encontrado.

O Perímetro de Irrigação Pontal Sul encontra-se ainda em processo de ocupação e acredita-se que isso tenha contribuído para manutenção de suas características, sendo favorável ao processo de infiltração. Gomes Filho et al. (2011), avaliando a VIB em dois tipos de áreas, sendo um isento de ação antrópica e outro sob uso agrícola, encontraram valores altos para infiltração nas áreas livre da ação humana e valores baixos para as áreas cultivadas, situação atribuída ao contínuo uso de máquinas, tanto para o preparo do solo para o cultivo, quanto para os tratos culturais, acarretando assim, na compactação do solo. Afirmativa é compartilhada por Miguel; Vieira e Grego (2009), após análise do processo de infiltração em área de pastagem, conferindo deste modo, a redução de sua velocidade de infiltração ao excessivo e contínuo pisoteio do rebanho.

De posse dos dados apresentados na Tabela 8, foram elaboradas equações (Tabelas 9 e 10) e gráficos (Figuras 16 e 17) de velocidade de infiltração e infiltração de água no solo, tanto para o modelo dos anéis concêntricos quanto para os modelos empíricos de Kostiakov e Kostiakov Lewis.

Tabela 9. Equações de velocidade de infiltração (VI) e infiltração acumulada (I), pelo modelo de Kostiakov, para ajuste de dados coletados em ensaio de campo, realizado com anéis concêntricos, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.

Ponto	Equações	
	Modelo Kostiakov	
	I (cm)	VI (cm h ⁻¹)
1	$I = 1,7739 T^{0,4780}$	$VI = 50,8755 T^{-0,5220}$
6	$I = 1,2731 T^{0,7411}$	$VI = 56,6097 T^{-0,2589}$
7	$I = 0,9487 T^{0,6799}$	$VI = 38,7013 T^{-0,3201}$
8	$I = 0,8979 T^{0,8793}$	$VI = 47,3714 T^{-0,1207}$
10	$I = 0,5228 T^{0,8615}$	$VI = 27,0235 T^{-0,1385}$
12	$I = 1,3471 T^{0,8102}$	$VI = 65,4852 T^{-0,1898}$
13	$I = 1,3970 T^{0,7964}$	$VI = 66,7542 T^{-0,2036}$
16	$I = 0,8928 T^{0,8806}$	$VI = 47,1720 T^{-0,1194}$
19	$I = 1,4907 T^{0,7849}$	$VI = 70,2030 T^{-0,2151}$
21	$I = 1,1548 T^{0,7261}$	$VI = 50,3100 T^{-0,2739}$
27	$I = 1,2614 T^{0,7859}$	$VI = 59,4801 T^{-0,2141}$
28	$I = 1,4094 T^{0,8061}$	$VI = 68,1670 T^{-0,1939}$
33	$I = 1,9220 T^{0,8189}$	$VI = 94,4355 T^{-0,1811}$
35	$I = 1,4434 T^{0,8933}$	$VI = 77,3634 T^{-0,1067}$
36	$I = 2,5199 T^{0,8146}$	$VI = 123,1626 T^{-0,1854}$
38	$I = 0,5699 T^{0,8723}$	$VI = 29,8274 T^{-0,1277}$
41	$I = 0,8283 T^{0,9052}$	$VI = 44,9866 T^{-0,0948}$
49	$I = 1,2916 T^{0,7578}$	$VI = 58,7265 T^{-0,2422}$
53	$I = 1,3270 T^{0,8044}$	$VI = 64,0463 T^{-0,1956}$
57	$I = 1,1914 T^{0,8080}$	$VI = 57,7591 T^{-0,1920}$
63	$I = 0,6894 T^{0,8539}$	$VI = 35,3822 T^{-0,1446}$

Tabela 10. Equações de velocidade de infiltração (VI) e infiltração acumulada (I), pelo modelo Kostiakov-Lewis, para ajuste de dados coletados em ensaio de campo, realizado com anéis concêntricos, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Pernambuco.

Ponto	Equações	
	Modelo Kostiakov - Lewis	
	I (cm)	VI (cm h ⁻¹)
1	$I = 1,7739 T^{0,4780} + 19,56 T$	$VI = 50,8755 T^{-0,5220} + 19,56$
6	$I = 1,2731 T^{0,7411} + 11,64 T$	$VI = 56,6097 T^{-0,2589} + 11,64$
7	$I = 0,9487 T^{0,6799} + 18,68 T$	$VI = 38,7013 T^{-0,3201} + 18,68$
8	$I = 0,8979 T^{0,8793} + 34,00 T$	$VI = 47,3714 T^{-0,1207} + 34,00$
10	$I = 0,5228 T^{0,8615} + 17,69 T$	$VI = 27,0235 T^{-0,1385} + 17,69$
12	$I = 1,3471 T^{0,8102} + 31,00 T$	$VI = 65,4852 T^{-0,1898} + 31,00$
13	$I = 1,3970 T^{0,7964} + 33,93 T$	$VI = 66,7542 T^{-0,2036} + 33,93$
16	$I = 0,8928 T^{0,8806} + 30,18 T$	$VI = 47,1720 T^{-0,1194} + 30,18$
19	$I = 1,4907 T^{0,7849} + 34,61 T$	$VI = 70,2030 T^{-0,2151} + 34,61$
21	$I = 1,1548 T^{0,7261} + 24,11 T$	$VI = 50,3100 T^{-0,2739} + 24,11$
27	$I = 1,2614 T^{0,7859} + 30,24 T$	$VI = 59,4801 T^{-0,2141} + 30,24$
28	$I = 1,4094 T^{0,8061} + 35,20 T$	$VI = 68,1670 T^{-0,1939} + 35,20$
33	$I = 1,9220 T^{0,8189} + 47,63 T$	$VI = 94,4355 T^{-0,1811} + 47,63$
35	$I = 1,4434 T^{0,8933} + 48,73 T$	$VI = 77,3634 T^{-0,1067} + 48,73$
36	$I = 2,5199 T^{0,8146} + 58,99 T$	$VI = 123,1626 T^{-0,1854} + 58,99$
38	$I = 0,5699 T^{0,8723} + 19,71 T$	$VI = 29,8274 T^{-0,1277} + 19,71$
41	$I = 0,8283 T^{0,9052} + 30,81 T$	$VI = 44,9866 T^{-0,0948} + 30,81$
49	$I = 1,2916 T^{0,7578} + 28,55 T$	$VI = 58,7265 T^{-0,2422} + 28,55$
53	$I = 1,3270 T^{0,8044} + 33,29 T$	$VI = 64,0463 T^{-0,1956} + 33,29$
57	$I = 1,1914 T^{0,8080} + 30,75 T$	$VI = 57,7591 T^{-0,1920} + 30,75$
63	$I = 0,6894 T^{0,8554} + 22,15 T$	$VI = 35,3822 T^{-0,1446} + 22,15$

Nas Tabelas 9 e 10, podem ser observadas as equações de infiltração acumulada (I , cm) e velocidade de infiltração (VI , cm h^{-1}), dos modelos de Kostiakov e Kostiakov-Lewis, ajustados para cada um dos 21 pontos amostrados do Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em função do tempo. Nas Figuras 16 e 17, é perceptível o comportamento inversamente proporcional dos valores da infiltração acumulada (I) e a velocidade de infiltração (VI), onde I aumenta com o tempo e VI decresce com o passar do mesmo, tendendo a estabilidade.

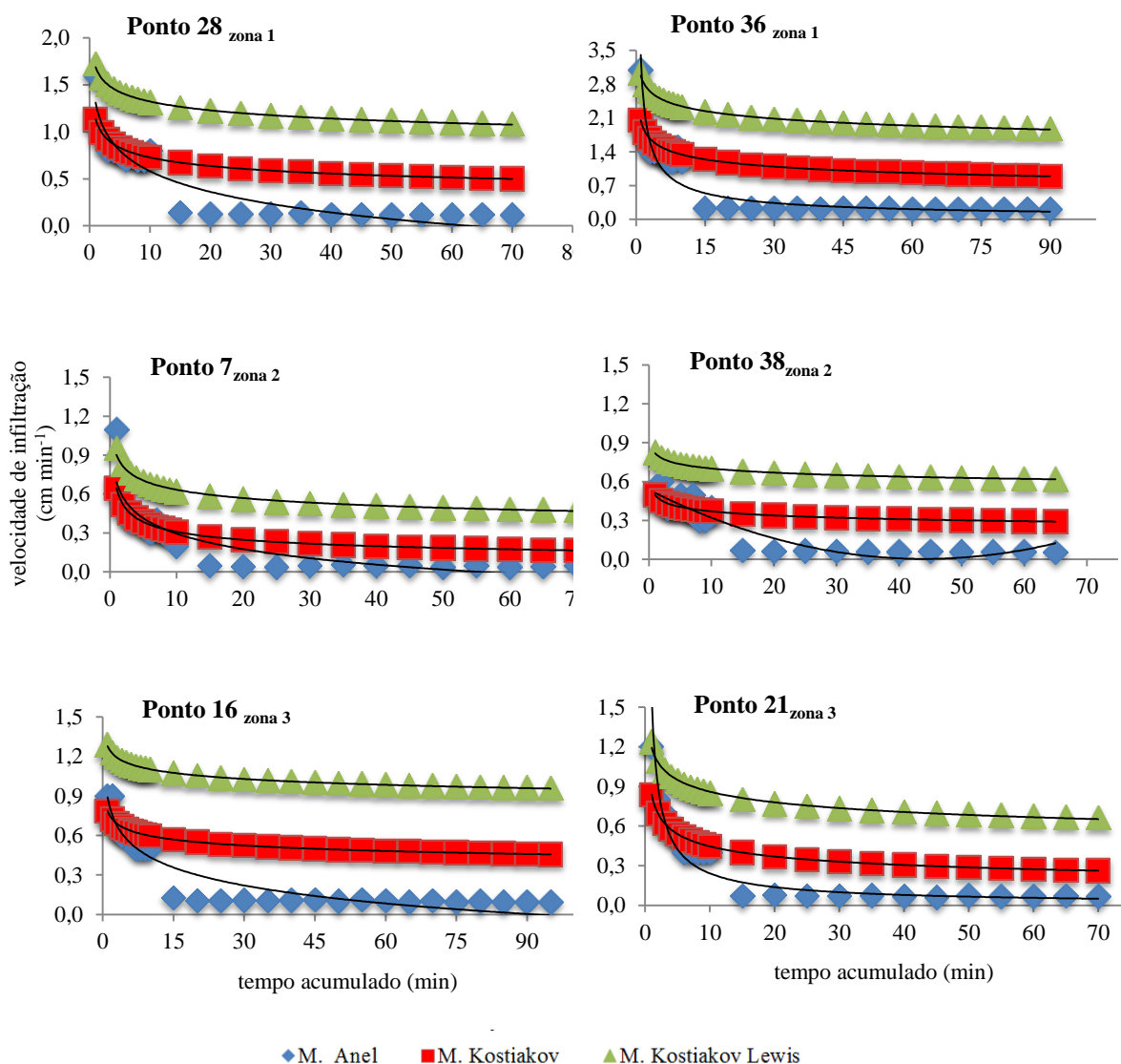


Figura 16. Curvas da velocidade de infiltração de água no solo (cm h^{-1}), para os modelos de anéis concêntricos, Kostiakov e Kostiakov-Lewis, sendo expostos alguns dentre os pontos de amostragem selecionados no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Petrolina.

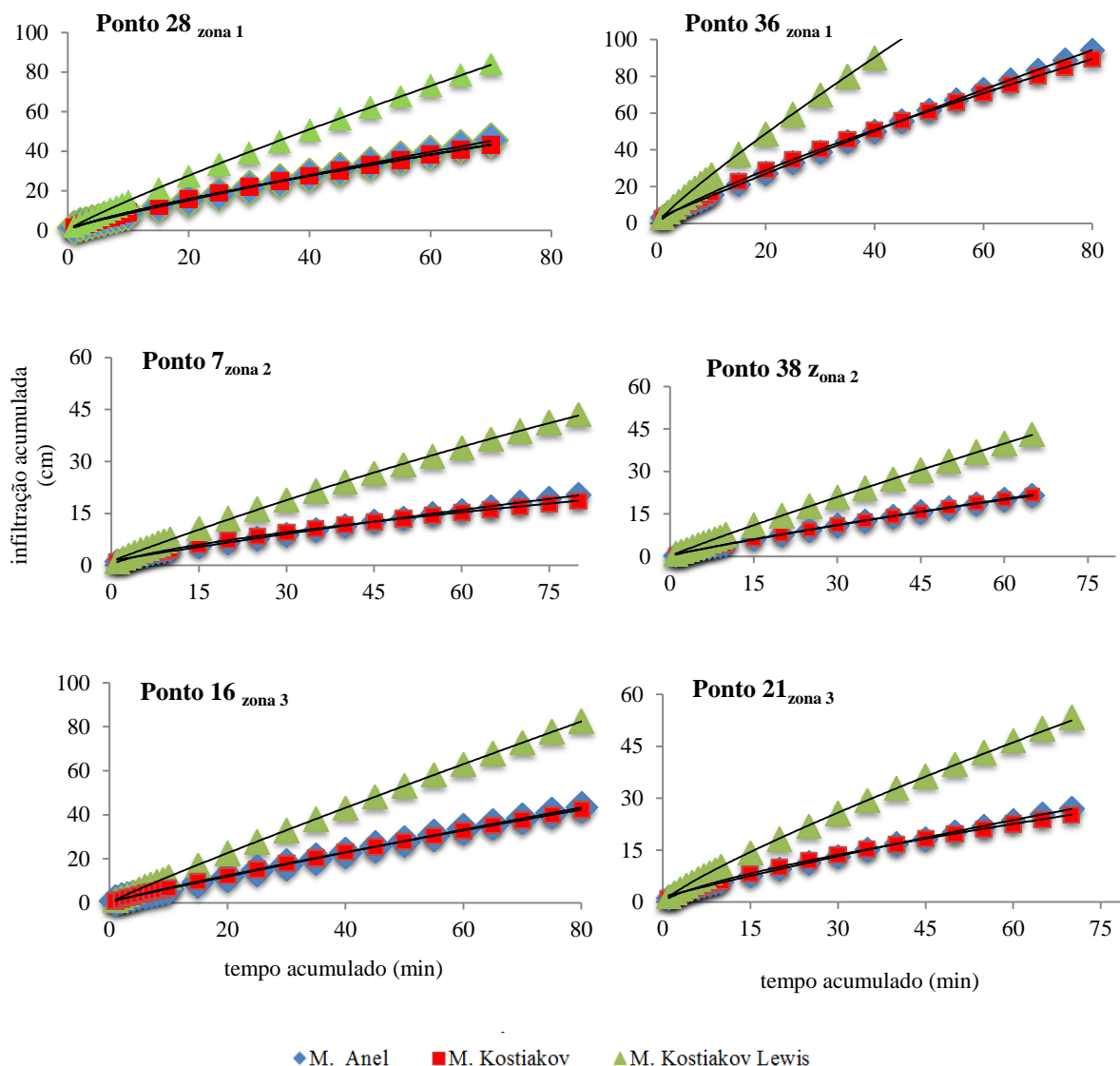


Figura 17. Curvas de infiltração acumulada de água no solo (cm), para os modelos de anéis concêntricos, Kostiakov e Kostiakov-Lewis, sendo expostos alguns dentre os pontos de amostragem selecionados no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Petrolina.

De acordo com os ajustes, o modelo de Kostiakov melhor evidenciou os resultados adquiridos em campo, sendo que seu perfeito ajuste ocorreu com a curva de infiltração acumulada, onde houve uma sobreposição dos pontos no gráfico, do início ao final do período de teste. O modelo de Kostiakov – Lewis superestimou os resultados de campo, tanto para I quanto para VI. Os gráficos da VI indicam uma similaridade entre os valores dos ensaios de campo e os ajustados por Kostiakov até o

décimo minuto, a partir daí os valores passam a divergir, isto em decorrência de um brusco decréscimo da infiltração pelo modelo dos anéis, cerca de 80 %, enquanto o ajustado reduz aproximadamente 5%. Já, Kostiakov Lewis apresenta em todos os pontos amostrados uma superestimação dos valores, contrariando Paixão et al. (2009) que confrontando os mesmos modelos empíricos para ajuste da VI, afirmam ter encontrado comportamento análogo entre eles. Segundo Bernardo; Soares e Mantovani (2009) a equação de Kostiakov-Lewis apresenta maior adequação para períodos mais extensos de infiltração, ocorrendo assim o alcance da VIB do solo; contudo, os autores ainda sinalizam que a presença de mais uma variável na equação, dificulta o ajuste aos dados decorrentes do campo.

Com a determinação das curvas de infiltração e velocidade de água no solo, ficou evidente a prevalência de funções não lineares no ajuste das equações e, dentre estas, o tipo potência e polinômio (Tabela 11). Carvalho et al. (2009), analisando regressões não lineares para ajuste das curvas de infiltração, também identificou o predomínio da função tipo potência, aliado ao modelo de Kostiakov, como mais adequado para representação dos dados experimentais.

Tabela 11. Determinação das funções de ajuste e coeficientes de determinação para os modelos de anéis concêntricos, Kostiakov e Kostiakov-Lewis, utilizados para determinação da velocidade de infiltração e infiltração de água no solo, no Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em Petrolina – PE.

Velocidade de Infiltração (cm h ⁻¹)							
Zona	Ponto	R ²	M. Anel Função	R ²	M. Kostiakov Função	R ²	M. Kostiakov Lewis Função
1	28	0,8788	Logarítmico	1	Potência	0,9974	Potência
	36	0,8668	Potência	1	Potência	0,9977	Potência
2	07	0,7855	Logarítmico	1	Potência	0,9908	Potência
	38	0,9988	Potência	1	Potência	0,8692	Polinômio
3	16	0,8933	Logarítmico	1	Potência	0,9989	Potência
	21	0,8970	Potência	1	Potência	0,9942	Potência

Infiltração Acumulada (cm)							
Zona	Ponto	R ²	M. Anel Função	R ²	M. Kostiakov Função	R ²	M. Kostiakov Lewis Função
1	28	0,9998	Polinômio	1	Potência	1	Potência
	36	0,9999	Polinômio	1	Potência	1	Potência
2	07	0,9988	Polinômio	1	Polinômio	0,9997	Polinômio
	38	0,9996	Polinômio	1	Potência	1	Potência
3	16	0,9999	Polinômio	0,8928	Potência	1	Potência
	21	0,9992	Polinômio	1	Potência	0,9998	Potência

A equação de Kostiakov evidenciou, para os pontos de amostragem selecionados, maiores valores para o R^2 , o que implica ser este o modelo mais adequado para cálculo da velocidade de infiltração para todo perímetro analisado, sendo a função potência, a que melhor representa a equação sob tais condições (Tabela 11). Todavia, para os demais modelos o coeficiente de determinação apresentou valores também relevantes, tanto para velocidade de infiltração quanto para lâmina infiltrada, sendo o menor valor encontrado de $R^2 = 0,7855$, para a VI do modelo dos anéis concêntricos, sinalizando que os modelos utilizados são eficientes na simulação da lâmina de infiltração de água no solo.

De modo geral, dentre os testes realizados em campo os modelos de regressão não linear, exibiram gráficos com melhor ajuste para velocidade de infiltração e infiltração de água no solo. Esse resultado é suportado por Paixão et al. (2004) como evidência da direta dependência da velocidade de infiltração com o período transcorrido, ou seja, a variável tempo.

CONCLUSÕES

Sob as condições de campo nas quais foram realizados os ensaios, o modelo de Kostiakov em comparação com Kostiakov Lewis, apresentou melhor ajuste para os dados coletados, tanto para infiltração, quanto para velocidade de infiltração, identificando a função potência foi a mais adequada.

De modo geral, de acordo com os valores de velocidade de infiltração básica encontrados, o Perímetro de Irrigação Pontal Sul, em toda sua extensão, apresenta velocidade de infiltração básica muito alta, característica de solos de textura arenosa, sendo constituídos por maior número de macroporos, que dificultam a retenção hídrica e favorecem a infiltração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

AL-KAYSSI, A.W., MUSTAFA, S.H. . **Agricultural Water Management**, v. 163, 1 Jan 2016, p. 66-74.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. 2ª reimpressão. Viçosa: UFV, 2009. 625p.

BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. **Infiltração da água no solo**. 3.ed. Atualizada e ampliada – Viçosa: Ed. UFV, 2006, 120p.

BRSCAN, I. M. Rede Agrohidro fortalece e pretende criar parcerias em Sergipe. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2198936/rede-agrohidro-fortalece-e-pretende-criar-parcerias-em-sergipe>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

CARLESSO, R; ZIMMERMANN, F. L. Água no solo: parâmetros para o dimensionamento de sistemas de irrigação. **Caderno Didático**, n ° 3, Santa Maria: UFSM/Departamento de Engenharia Rural, 2000, 88p.

CARVALHO, J. F. et al. Avaliação da infiltração da água no solo pelo método do infiltrômetro de anel com carga variável e pelo modelo de Kostiakov. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 9., 2009, Recife. **Resumos...** Disponível em: <<http://www.eventosufrpe.com.br/jepex2009/cd/resumos/R1490-1.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Infiltração**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 60-80, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Novo perímetro irrigado do Vale do São Francisco tem ritmo de implantação acelerado. Brasília,

DF, 2014a. Disponível em:< <http://ppp-projetopontal.codevasf.gov.br/licitacoes/ppp-projetopontal> >. Acesso em: 10 mar. 2015.

Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Pontal. Brasília, DF, 2014b. Disponível em:< <http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/elenco-de-projetos/pontal>>. Acesso em: 12 mar. 2016.

CORREIA, J. S.; LIMA, G. S. ; OLDONI, H. ; RAMOS, C. M. C. ; BASSOI, L. H. . Dependência espacial da infiltração de água no solo no perímetro irrigado pontal sul. In: III Seminário da Rede AgroHidro e I Workshop do projeto impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos, 2015, Corumbá. **Anais do III Seminário da Rede AgroHidro e I Workshop do projeto impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos**. Corumbá: EMBRAPA/CPAP, 2015.

CUNHA, J. L. X. L.; COELHO, M. E. H.; ALBUQUERQUE, A. W. de , SILVA, C. A.; SILVA JUNIOR, A. B. da; CARVALHO, I. D. E. de Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.19, n.11, p.1021–1027, 2015

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E. SANTOS JUNIOR, R. B. Velocidade de infiltração da água em um latossolo amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Caatinga**, v.22, n.1, p.199-205, 2009.

DANTAS, V. de A.; SILVA, V. de P. R. da; COSTA, A. C. L. da; CHAGAS, G. F. B. das. Fluxos de calor no dossel vegetativo e infiltração de água no solo, em floresta tropical. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.12, p.1266–1274, 2011.

DONNAGEMMA, G. K. et al. **Manual de métodos de análise de solos**. 2nd. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

DWOMOH, F.A., SHOUQI, Y., HONG, L., 2014. Droplet size characterization of the new type complete fluidic sprinkler. **J. Mech. Civil Eng.** 11 (4), 70–73.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2nd.ed. Rio de Janeiro: 2000.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S. dos; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; 2012

GOMES FILHO, R. R.; SILVA, J. H. DA; COSTA, C.A. G.; SILVA, T. R.; RODRIGUES, M..H.; OLIVEIRA, A. S.. Velocidade de infiltração da água num plintossolo argilúvico de campo de murundu sob uma cronossequência de interferência antrópica. **Rev. Bras. Agric. Irrigada**, v. 5, nº. 3, p -245. 253, 2011.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S.; Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.4, n.1, p. 64-73, 2010.

HILLEL, D. **Applications of soil physic**.California: Academic Press, Inc. 1980, 385 p.

JOSÉ, J. V.; REZENDE, R.; MARQUES, P. A. A.; FREITAS, P. S. L. de; ALVES, D. S. Determinação da velocidade de infiltração básica de água em dois solos do noroeste do estado do Paraná. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.6, n.1, p. 155-170, 2013.

LIMA. W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba – São Paulo. Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’, 253p. 2008.

LIMA, G. S.; CORREIA, J. S.; OLDONI, H.; RAMOS, C. M. C.; BASSOI, L. H. . Zonas homogêneas para planejamento do uso de água no perímetro irrigado pontal sul. In: III Seminário da Rede AgroHidro e I Workshop do projeto impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos, 2015, Corumbá. **Anais do III Seminário da Rede AgroHidro e I Workshop do projeto impactos da agricultura e das mudanças climáticas nos recursos hídricos**. Corumbá: EMBRAPA/CPAP, 2015.

LIMA, G. S. **Caracterização físico-hídrica do solo do perímetro ir- rigado Pontal Sul por funções de pedotransferência** 2016, 68p. Tese (Doutorado em Agronomia Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

MELLEK, J. E.; RIZZI, N. E.; RIBEIRO, J. C; CORDEIRO, C. R. R.; ANDRADA, E. R. de. Velocidade de infiltração da água em cambissolos de textura Argilosa sob floresta ombrófila mista. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p.1923. 2014.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.44, n.11, p.1513-1519, nov. 2009.

NETTO, G. J. DE S.; SILVA, A. M. DA;; COELHO, G. ; BARROS, D. A. DE ; GUIMARÃES, J. C. C.. Desempenho de modelos de infiltração na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, na região do alto Rio Grande-MG. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2589-2602, nov./dez. 2013.

PAIXÃO, F. J. R. DA; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V. DE; COSTA, T. L.; GUERRA, H. O. C. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.2, p.107-112, 2009.

PAIXÃO, F. J. R. DA; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V. DE; SILVA, J. M.; COSTA, T. L.; FEITOSA, R. M. Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n. 1, p.1-12, 2004.

PRUSKI, F.F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA E.F.; BALBINO, L.C.; FERREIRA, P.A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L.T. Infiltração de água no Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 1, p.77-84, 1997.

RAMOS, C. M. C. **Variabilidade espacial e temporal de fatores edafoclimáticos na bacia do rio Pontal**. 2012. 82 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu.

SAYAH, B.; GIL-RODRÍGUEZ, M.; JUANA, L. Development of one-dimensional solutions for water infiltration. Analysis and parameters estimation. **Journal of Hydrology**. 2016, 535, 226–234, 2016.

SILVA, C. L. da; KATO, E. Avaliação de modelos para previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, n.7, p.1149-1158, jul. 1998.

TEIXEIRA, A. H. C. Informações agrometeorológicas do Pólo Petrolina, PE / Juazeiro, BA – 1963 a 2009. Petrolina. Embrapa Semiárido. 2010. 21p (**Série Documentos**, 233).

TOMASINI, B. A.; VITORINO, A. C. T.; GARBIATE, M. V.; SOUZA, C. M. A. de; ALVES SOBRINHO, T. Infiltração de água no solo em áreas cultivadas com cana-de-açúcar sob diferentes sistemas de colheita e modelos de ajustes de equações de infiltração. **Engenharia. Agrícola**, v.30, n.6, p.1060-1070, 2010.

ZAKWAN, M.; MUZZAMMIL, M.; ALAM, JAVED. Application of spreadsheet to estimate infiltration parameters. **Perspectives in Science**, Amsterdam, 2016. Disponível em: </pii/S2213020916302038>. Acesso em: 25 jul. 2016.

ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; ROHR, M. R.; MENEGOL, D. R. Caracterização físico-hídrica de solos submetidos a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.4, p.51-66, 2011.

4. CONCLUSÕES

Os resultados observados durante o período analisado evidenciaram considerável transição entre as classes de uso e ocupação do solo, com fragmentação da área, resultando no agrupamento das mesmas considerando suas peculiaridades;

Existe substituição progressiva das áreas, onde a classe de agricultura irrigada, quase inexistente em primeiro cenário, se faz presente no segundo, sinalizando contínua evolução;

O programa IDRISI evidenciou melhor resolução e eficácia na projeção dos dados, caracterizando e quantificando todas as classes em ambos os cenários, além de sinalizar sua sucessão. Foi comprovada a presença de agricultura irrigada em ambos os cenários, e água superficial apenas em 2000. O programa ArcGis, contrariamente, apenas pontuou o foco de agricultura irrigada em 2015;

Os ajustes dos dados de infiltração evidenciaram uma velocidade de infiltração básica muito alta para o perímetro de irrigação, classificado como arenoso, sendo o modelo de Kostiakov considerado o mais adequado e a função potência para sua representação matemática.

Diante do observado, sob condições atuais, o solo do perímetro encontra-se composto por maior número de macroporos, o que dificulta sua retenção hídrica e por consequência favorece sua infiltração;

Uma interpretação tendenciosa dos cenários simulados indica que os lotes serão demarcados sobre todos os tipos de classes, atualmente existentes no perímetro, os quais serão alterados em sua totalidade, sendo sucedidos pela agricultura irrigada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A. C. T.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; CARVALHO, D. F. Infiltração de água no solo em sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.191-196, 2003.

ARAUJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. de; ALMEIDA, E.X. de; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1047-1054, 2000.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. 2ª reimpressão. Viçosa: UFV, 2009. 625p.

BRANDÃO, V. S. **Infiltração de solo sujeito a encrostamento**. 81 p. Tese (doutorado em Doctor Scientiae) – Setor de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da Infiltração da água no solo. 3.ed. Atual. E ampl. – Viçosa: Ed. UFV, 2006, 120p.

BRANNSTROM, C; JEPSON, W.; FILIPPI, A. M.; REDO, D.; XU, S.; GANESH, S. Land change in the Brazilian Savanna (Cerrado), 1986-2002: **Comparative analysis and implications for land-use policy**. In: Land Use Policy V. 25, p. 579-595, 2008.

CALHEIROS, C.B.M.; TENÓRIO, F.J.C.; CUNHA, J.L.X.L.; SILVA, E.T. da; SILVA, D.F. da; SILVA, J.A.C. da. Definição da taxa de infiltração para dimensionamento de sistemas de irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.665-670, 2009.

CANDIDO, M. Z.; CALIJURI, M. L.; MOREIRA NETO, R. F. Modelagem do Uso Ocupação e Desenvolvimento de uma região com a ferramenta Land Change Modeler (LCM). In: XXIV Congresso Brasileiro de Cartografia, 24., 2010, **Anais** eletrônicos. Aracaju: SBC, 2010. v. 1. p. 663-668. 16 a 20 maio de 2010. Disponível em: . Acesso em: 22 mar. 2014.

CICHOTA, R.; JONG VAN LIER, Q.; LEGUIZAMÓN ROJAS, C.A. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 27,789-798, 2003.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R.V.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.1, p.64-72, Campina Grande, 2014.

COPPIN, P.; JONCKHEERE, I.; NECKAERTS, B.; MUYS, B.; LAMBIN, E. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 9, p. 1565-1596, mai. 2004.

COSTA, C. D. de O.; ALVES, M.C.; SOUSA, A. de P. Movimento de água e porosidade dos solos de uma sub-bacia hidrográfica no noroeste do estado de São Paulo. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 304-318, março - junho, 2015.

DANTAS, V. de A.; SILVA, V. de P. R. da; COSTA, A. C. L. da; CHAGAS, G. F. B. das. Fluxos de calor no dossel vegetativo e infiltração de água no solo, em floresta tropical.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.12, p.1266–1274, 2011

DIAS, L. T.; WALDE, D. H. - G. Modelagem da dinâmica espacial do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do lago Paranoá-DF. **Revista Brasileira de Cartografia** (2013) Nº 65/1: 77-94. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. ISSN: 1808-0936 S B C.

ELAIUY, M. L. C.; SATO, L. M.; VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F. Desenvolvimento e avaliação de sonda TDR para o manejo racional de água em substratos utilizados na produção de mudas florestais. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.4, n.1, 2009. <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.77>>.

FAGUNDES, E. A. A.; KOETZ, M.; RUDEL, N.; SANTOS, T. S. dos; PORTO, R. Determinação da infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo de cerrado no município de Rondonópolis-MT. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; 2012.

FIORIN, T. T. **Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções**. 2008. 116F. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa, Programa de Pós-Graduação, 2008.

GONÇALVES, A. D. M. A.; LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica no solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1174-1184, 2013.

GOLÇALVES, F. C.; MORAES, M. H. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Irriga**, v. 17, p. 337-345, 2012.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S.; Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método do infiltrômetro

de anel em solo areno-argiloso. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.4, n.1, p. 64-73, 2010.

JOSÉ, J. V.; REZENDE, R.; MARQUES, P. A. A.; FREITAS, P. S. L. de; ALVES, D. S. Determinação da velocidade de infiltração básica de água em dois solos do noroeste do estado do Paraná. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.6, n.1, p. 155-170, 2013.

KOSTIAKOV, A. N. On the dynamics of the coefficient of water-percolation in soil and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. Trans.6th comm. Intern. **Soil Science Society**, Moscou, Part A., 17- 21,1932.

LIMA, C. A. G.; SILANS, A. P. DE. Variabilidade espacial da infiltração de água no solo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.34, n.12, p.2311-2320, dez. 1999

LIU, X. P., LI X.: Simulating complex urban development using kernel-based non-linear cellular automata, **Ecological Modelling**, 211 (1–2), 169–181, 2008.

LOPES, L. H. M; Uso e Cobertura do Solo no Município de Tailândia – PA Utilizando o TM/LANDSAT e Técnica de Classificação Não-Supervisionada. **ENGEVISTA**, v. 10, n. 2, p. 126-132 dezembro 2008.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação**: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 2006, 318p

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.44, n.11, p.1513-1519, nov. 2009.

NETTO, G. J. DE S.; SILVA, A. M. DA;; COELHO, G. ; BARROS, D. A. DE ; GUIMARÃES, J. C. C.. Desempenho de modelos de infiltração na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, na região do alto Rio Grande-MG. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2589-2602, nov./dez. 2013.

PAULA, M. R. DE; CABRAL, P. J. B.; MARTINS, A. P. Uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização do uso da terra da bacia hidrográfica da UHE CAÇU – GO - Eixo temático: geoecologia das paisagens, bacia hidrográficas, planejamento ambiental e territorial. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.127 - 139, 2012.

PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola. **Revista Ambiente e Água**, v.4, p. 188-199, 2009.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.19-27, 2003.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 102, n. 2, p. 242- 254, 2009.

SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.826–834, 2010.

SHERWOOD, S.; FU, Q. A DRIER FUTURE, **Science**, 343, 737–739, 2014.

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, S. D. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, p. 646 – 660, 2012.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; AMORIM, R. S. S.; PAIVA, K. W. N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.409-419, 2005.

- SILVA, L.C. da; KATO, E. Avaliação de modelos para a previsão da infiltração de água em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 213-220, . 1997. STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1301-1309, 2013
- VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K.. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 295 – 308, 2016.
- VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.55-64, 2010.
- WANG, R.; KALIN, L.; KUANG, W.; TIAN, H.: Individual and combined effects of land use/cover and climate change on Wolf Bay watershed streamflow in southern Alabama, **Hydrol. Process.**, v. 28, p. 5530–5546, 2014.
- YIN, J.; He, F.; XIONG, Y.; QIU, G. Effect of land use/land cover and climate changes on surface runoff in a semi-humid and semi-arid transition zone in Northwest China. **Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.**, doi:10.5194/hess-2016-212, 2016.
- ZWIRTES, A. L.; SPOHR, R. B.; BARONIO, C. A.; MENEGOL, D. R.; ROSA, G. M. da; MORAES, M. T. de. Utilização do infiltrômetro de cornell e dos anéis concêntricos para determinação da infiltração de água em um Latossolo Vermelho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3489-3500, 2013.
- ZAKWAN, M.; MUZZAMMIL, M.; ALAM, JAVED. Application of spreadsheet to estimate infiltration parameters. **Perspectives in Science**, Amsterdam, 2016. Disponível em: </pii/S2213020916302038>. Acesso em: 25 jul. 2016.