



**WILLIAM GONTIJO LISBOA**

**Simulação das propriedades físico-hídricas do solo e  
turno de rega para manejo da irrigação da cana-de-  
açúcar irrigada por sulco**

**LAVRAS- MG**

**2021**

**WILLIAM GONTIJO LISBOA**

**Simulação das propriedades físico-hídricas do solo e  
turno de rega para manejo da irrigação da cana-de-  
açúcar irrigada por sulco**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de  
Lavras, como parte das  
exigências do Curso de  
Engenharia Agrícola, para a  
obtenção do título de  
Bacharel.

Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto

Orientador

LAVRAS – MG

2021

## **Agradecimentos**

Hoje, mais do que nunca, compreendemos a existência de uma força maior, sei também que será essa mesma força que me fará seguir sempre em frente por qualquer caminho. A mais bela de todas as orações será sempre muito pouco para traduzir minha gratidão a Ti.

A minha namorada agradeço por todo o incentivo e apoio perante aos momentos de incerteza.

Aos meus pais e irmãos, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Manifesto também meu agradecimento aos amigos que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e por todo auxílio prestado durante a realização deste projeto, em especial agradeço ao graduando e amigo José Alceu Salmasso Júnior pela paciência e cooperação.

Por fim agradeço a meu professor e orientador Adriano Valentim Diotto, por seu apoio e colaboração durante as orientações que tornou possível a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

Com o aumento da população se faz necessário a produção de cada vez mais alimentos, para isto alguns produtores que não tem disponibilidade de adquirir mais terras, optam pela implementação de sistemas de irrigação como forma de aumentar a produtividade e saciar a demanda crescente de alimentos. Dentre os sistemas de irrigação mais utilizados no mundo destaca-se o sistema de irrigação por superfície, uma vez que o mesmo apresenta baixos custos de implementação e manutenção. Todavia a implementação eficiente de tal sistemas exige um conhecimento aprofundado das características físico-hídricas do solo, o que se torna um processo relativamente oneroso, demorado e por certas vezes inviável para alguns produtores. Como alternativa de diminuir o custo destes processos e tornar viável a implementação adequada de sistemas de irrigação, pode ser utilizado equações de “pedotransferência”. Tais equações tem por objetivo estimar as propriedades físico-hídricas do solo através de dados coletados de maneira rápida prática e de baixo custo, como textura do solo, porcentagem de matéria orgânica e densidade aparente. Neste estudo utilizou-se o programa *Soil Water Characteristics*, presente no pacote de instalação do software SPAW desenvolvido pela USDA, para avaliar os dados de análise de solo de uma parte da Usina Casur (Nicarágua), com a finalidade de montar um banco de dados que sirva de base para as estratégias de manejo da irrigação por sulco na cultura da cana-de-açúcar. Através da correlação entre os dados de condutividade hidráulica estimados pelo software e os dados obtidos em campo foi possível afirmar a viabilidade do uso do software. Desta forma tornou-se possível a elaboração de mapas de turno de rega e disponibilidade de água no solo que irão auxiliar o produtor na tomada de decisão.

## **ABSTRACT**

With the increase in the population, it is necessary to produce more and more food, for this reason some producers who do not have the availability to acquire more land, choose to implement irrigation systems to increase productivity and satisfy the growing food demand. Among the most used irrigation systems in the world, the surface irrigation system stands out, since it has low implementation and maintenance costs. However, the efficient implementation of such systems requires an in-depth knowledge of the physical-hydric characteristics of the soil, which becomes a relatively costly, time-consuming and sometimes unfeasible process for some producers. As an alternative to reduce the cost of these processes and make the proper implementation of irrigation systems viable, "pedotransfer" equations can be used. Such equations aim to estimate the physical-hydric properties of the soil through data collected in a fast and inexpensive way, such as soil texture, percentage of organic matter and soil density. In this study, the Soil Water Characteristics program, present in the installation package of the SPAW software developed by the USDA, was used to evaluate the soil analysis data of a part of the Casur Plant (Nicaragua), to set up a database that serves as a basis for the irrigation management in the sugarcane crop. Through the correlation between the hydraulic conductivity data estimated by the software and the data obtained in the field, it was possible to affirm the software feasibility. In this way, it became possible to prepare maps of irrigation shifts and soil water availability that will assist the producer in decision making.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtividades médias brasileiras comparadas com culturas irrigadas.....	12
Figura 2 - Produção mundial de açúcar.....	15
Figura 3 - Localização CASUR S.A.....	20
Figura 4 - Área cultivada por cada setor da usina CASUR S.A.....	21
Figura 5 - Setor El Salitre, Usina CASUR S.A.....	21
Figura 6 - Software <i>Soil Water Characteristics</i> .....	22
Figura 7 - limitações do Software características de água do solo .....	23
Figura 8 - Avaliação da profundidade das raízes da cana de açúcar em diferentes tipos de plantio.....	25
Figura 9 - Correlação entre condutividade hidráulica média medida em campo e condutividade hidráulica estimada pelo software.....	27
Figura 10 - Disponibilidade de água setor El Salitre camada de 0 cm a 30 cm usina CASUR S.A.....	33
Figura 11 - Disponibilidade de água setor El Salitre camada de 0 cm a 60 cm usina CASUR S.A.....	33
Figura 12 - Turno de rega setor El Salitre camada de 0 cm a 30 cm Kc inicial, usina CASUR S.A.....	35
Figura 13 - Turno de rega setor El Salitre camada de 0 cm a 30 cm Kc médio, usina CASUR S.A.....	35
Figura 14 - Turno de rega setor El Salitre camada de 0 cm a 60 cm Kc inicial, usina CASUR S.A.....	37
Figura 15 - Turno de rega setor El Salitre camada de 30 cm a 60 cm Kc médio, usina CASUR S.A.....	37
Figura 16 - Turno de rega setor El Salitre camada de 30 cm a 60 cm Kc final, usina CASUR S.A.....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplo de funções de pedotransferência desenvolvidas.....	18
Tabela 2 - Interpretação do valor numérico de uma correlação.....	27
Tabela 3 - Valores estimados pelo software para camada de 0 cm a 30 cm.....	29
Tabela 4 - valores estimados pelo software para camada de 30 cm a 60 cm com valores de média para capacidade de campo e ponto de murcha permanente.....	30
Tabela 5: Densidade aparente em g/cm <sup>3</sup> para os pontos amostrados no setor de El Salitre usina CASUR S.A.....	32

## ANEXOS

Anexo 1: Dados estimados para a camada 0 cm a 30 cm.....	43
Anexo 2: Dados estimados para a camada 0 cm a 60 cm.....	44

## **SIGLAS**

CE – Condutividade elétrica

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento

DA – Densidade Aparente

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO - Organização para a Alimentação e Agricultura

ONU – Organização das nações unidas

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

WWAP - World Water Assessment Programme (Programa Mundial de Avaliação da Água)

USDA - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

USGS - Serviço Geológico dos Estados Unidos



## SUMÁRIO

1. Introdução.....	10
2. Objetivo Geral.....	11
3. Objetivos específicos .....	11
4. Revisão bibliográfica .....	12
4.1. Uso da irrigação .....	12
4.2. Irrigação por superfície .....	13
4.3. Cana-de-Açúcar .....	14
4.4. Turno de rega .....	15
4.5. Software SPAW e funções de “pedotransferência .....	15
5. Materiais e Métodos.....	19
5.1. Área de estudo .....	19
5.2. Software SPAW, <i>Soil Water Characteristics</i> .....	22
5.3. Limitações do software .....	23
5.4. Validação de Dados .....	24
5.5. Turno de Rega .....	24
5.6. Elaboração dos mapas .....	26
6. Resultados e Discussão .....	26
6.1. Validação de dados .....	26
6.2. Dados estimados pelo software .....	28
6.3. Mapas de armazenamento de água no solo .....	32
6.4. Mapas de turno de rega.....	35
7. Conclusão .....	39
8. Bibliografia.....	40

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo estimativas da ONU (2012), a população mundial em 2024 será superior a 8 bilhões de pessoas e, em 2050, superior a 9,5 bilhões. O que implica um aumento significativo na demanda de alimentos. O uso da irrigação surge então como uma alternativa para conter esta demanda, não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas, como para tornar produtivas as áreas áridas e semi-áridas do globo.

De acordo com Mohamed et. al. (2010), os projetos de irrigação por superfície são responsáveis pela maior parte de terras irrigadas do mundo, sendo seu baixo desempenho objeto de estudo de muitos pesquisadores e, segundo o autor, a maioria desses projetos é construída e operada sem o uso de técnicas adequadas, com conseqüentes baixas uniformidade e eficiência de aplicação de água.

Embora a agricultura irrigada tenha passado por grandes avanços tecnológicos ao longo dos anos através do desenvolvimento de softwares e modelos matemáticos que buscam representar o movimento da água no solo, a irrigação por sulco expõe baixos valores de eficiência, podendo variar entre 50% e 60% segundo Carvalho et al. (2002).

Segundo Michelon et. al. (2007), para se fazer um manejo adequado da irrigação é imprescindível o conhecimento das características físico-hídricas do solo, uma vez que está diretamente relacionada ao armazenamento de água no solo e disponibilidade para a planta.

Segundo Nascimento (2015), existem dois métodos para determinar a retenção de água no solo, os métodos diretos e indiretos. Os métodos diretos consistem no uso de instrumentação com o intuito de medir valores de umidade e potencial de água, com base em amostras deformadas ou indeformadas de solo. E segundo este mesmo autor, a determinação destes parâmetros, tanto em campo quanto em laboratório se tornam muitas vezes inviáveis devido ao elevado custo para realização das análises, demanda de tempo e mão de obra especializada.

O custo para se obter estes parâmetros pode ser, entretanto, reduzido com o uso de métodos indiretos. Um destes métodos consiste em fazer uso de

equações de regressão utilizando propriedades físicas do solo de fácil aquisição (NASCIMENTO,2015).

A estas equações dá se o nome de Função de Pedotransferência. Marcolin (2009), em revisão bibliográfica, revela que a expressão *Pedotransfer function* foi criada por Bouma (1989), com o significado de “transformando dados que possuímos em dados que necessitamos”.

Diante deste cenário, faz-se necessário a busca por novas ferramentas capazes de encontrar maneiras eficientes e de baixo custo, com a finalidade de definir características fundamentais para o manejo da irrigação por superfície tendo como exemplo as características físico hídricas do solo.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Simular as propriedades físico-hídricas do solo de parte da área de produção agrícola pertencente a Usina Casur S.A. (Nicarágua), através do software SPAW com a finalidade de montar um banco de dados que sirva de base para as estratégias de manejo da irrigação por sulco na cultura da cana-de-açúcar.

## **3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Reduzir os custos de aquisição de informações fundamentais na implementação de projetos de irrigação por sulco como características físico hídricas do solo;
- Identificar a viabilidade do uso do software SPAW na determinação de tais características;
- Promover a correlação entre os dados obtidos em campo, quando comparado aos dados obtidos pelo software;
- Utilizar dados coletados para elaboração de mapas de armazenamento de água no solo partindo de softwares livres;

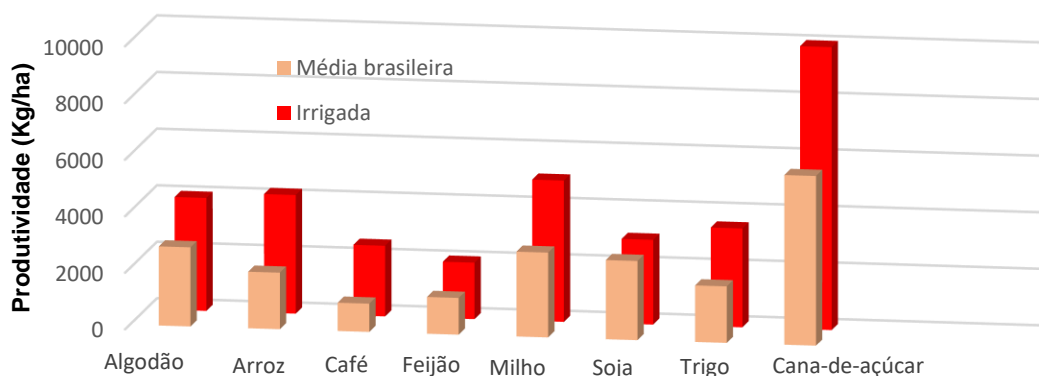
- Fornecer dados para auxiliar a tomada de decisão do produtor afim de contribuir com sua estrutura de manejo.

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1. Uso da irrigação

Embora seja uma prática antiga o uso da irrigação ainda é motivo de estudo nos dias atuais, uma vez que a mesma é capaz de aumentar de maneira significativa a produtividade da cultura, como pode-se observar através do gráfico de Produtividades médias brasileiras comparadas com culturas irrigadas (Figura 1) (Testezlaf; Matsura e Cardoso; 2002).

**Figura 1 - Produtividades médias brasileiras comparadas com culturas irrigadas**



**Fonte: Testezlaf, Matsura e Cardoso (2002)**

Segundo dados da FAO (Food and Agriculture Organization), em um estudo efetuado no ano 2000, havia no mundo cerca de 1,533 bilhão de hectares plantados para agricultura, sendo que deste total, apenas 18%, isto é, aproximadamente 278 milhões de hectares são irrigados e responsável pela produção de 44% da produção agrícola mundial.

Já ao final do ano de 2017 um estudo realizado pela NASA, agência do Governo Federal dos Estados Unidos, em parceria com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) informou que a área cultivada no Planeta Terra é de 1,87 bilhão de hectares somando um aumento de 337 milhões de hectares plantados no período de 17 anos. Estima-se ainda que ao final do ano de 2030 o mundo conseguira ampliar a produção de alimentos em 36% com o aumento de 13% na irrigação de áreas cultivadas, segundo o Programa Mundial de Avaliação da Água (UNESCO WWAP, 2017).

Torna-se claro o impacto promovido pela irrigação quando se constata, através de dados, da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), que apenas uma parcela de 1/6 da área mundial cultivada é irrigada, sendo responsável por 2/5 da produção de alimentos.

#### **4.2. Irrigação por superfície**

Segundo Melo e Silva et. al. (2009) a irrigação por superfície foi o primeiro método de irrigação a ser utilizado no mundo, sendo utilizada há cerca de 6000 mil anos pelas civilizações da Mesopotâmia, mesmo que de forma rudimentar. Ainda segundo os autores apesar de ser um dos métodos mais utilizados, os projetos de irrigação por superfície geralmente operam com baixa eficiência de aplicação.

A irrigação por superfície constitui-se de um sistema de irrigação no qual a água flui por gravidade fazendo uso da superfície do solo como sistema de distribuição. À medida que a água avança, diminui-se a vazão, pelo processo de infiltração da água no solo. Para garantir a maior uniformidade possível de aplicação é imprescindível que haja um equilíbrio entre o avanço e infiltração de água no solo (LEVIEN, 2012).

Dentre as vantagens da irrigação por sulco destaca-se o baixo custo de implantação, o baixo custo fixo e operacional além de permitir a utilização de solos com baixa capacidade de infiltração (Testezlaf, 2017).

### **4.3. Cana-de-Açúcar**

Acridita-se que o primeiro contato do homem com a cana-de-açúcar fez-se na Nova Guiné a mais de 6000 anos, seguindo posteriormente para a Índia, onde ganhou o nome e começou a se tornar conhecida e utilizada para diversos fins (Machado,2003).

A cana-de-açúcar passou por uma forte expansão da produção devido às expectativas relacionadas à produção de energia renovável desde os últimos anos. Por isso, essa cultura representa uma atividade de grande importância para o desenvolvimento econômico mundial (Nascimento; Rodrigues; Schlindwein, 2015).

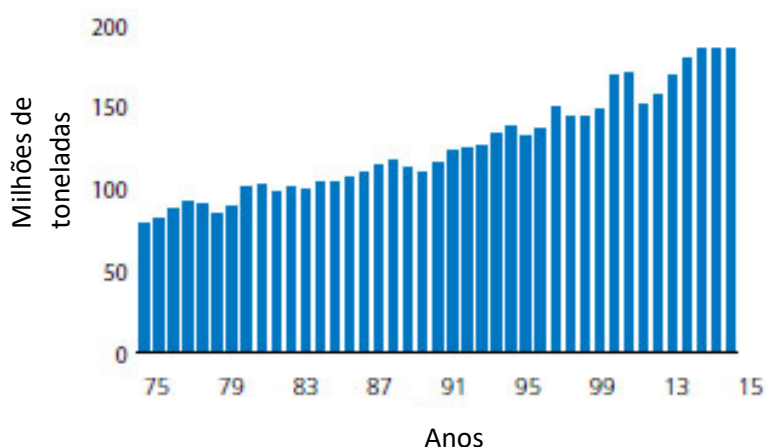
Considerada como uma importante alternativa para substituir o uso do petróleo no setor de biocombustíveis, devido principalmente ao seu potencial na produção de etanol e aos respectivos subprodutos, a cana-de-açúcar vem chamando cada vez mais a atenção do mercado financeiro, de acordo com a CONAB (2019).

O investimento na tecnologia dos biocombustíveis é uma importante alternativa para a questão energética mundial e pode surtir efeitos positivos em diversas áreas da economia global. São muitos os temas que ligam a produção de energia mais limpa à temática ambiental (Rodrigues Luciana,2010).

Segundo relatório do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) da ONU (Organização das Nações Unidas) o cenário crítico relacionado ao aquecimento global junto a necessidade de substituição de combustíveis fósseis torna necessário a implementação de fontes mais sustentáveis de fornecimento energético.

Embora a cana-de-açúcar apresente importante função na produção de biocombustíveis a cultura também possui expressiva importância na produção mundial de açúcar. Já em Marafante (1993), afirma que nenhuma outra cultura é capaz de competir com a cana-de-açúcar neste setor, uma vez que a mesma apresenta cerca de 90% de sacarose do qual pode-se extrair de 10% a 20% açúcar. Através da análise do gráfico de produção mundial de açúcar (Figura 2) é possível perceber o aumento expressivo da produção ao longo dos anos.

**Figura 2 – Produção mundial de açúcar**



**Fonte: Czarnikow Sugar, 2014**

#### **4.4. Turno de rega**

Ao intervalo de dias entre duas irrigações consecutivas, dá-se o nome de turno de rega (Ferreira, 2001). Uma vez que o propósito fundamental da irrigação consiste em fornecer a planta a quantidade de água ideal de modo que se obtenha ótima produção em quantidade e qualidade, a irrigação deve acontecer antes que a quantidade real de água disponível no solo para consumo da planta (ADR) torne-se igual ou inferior a quantidade diária necessária para consumo da planta (ETc). A variação de água requerida por uma determinada cultura (ETc), pode variar entre as culturas, com o tipo de solo, os estágios de crescimento e também as condições climáticas de uma região, sendo possível utilizar estas informações para se definir um turno de rega fixo para cada situação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

#### **4.5. Software SPAW e funções de “pedotransferencia”**

Introduzido por Bouma (1989) o termo funções (ou equações) de pedotransferência tem por finalidade padronizar os demais termos utilizados anteriormente com a mesma finalidade, tais funções podem ser definidas como funções utilizadas para fazer estimativas de propriedades dos solos a partir de outras propriedades medidas rotineiramente com maior facilidade e baixo custo (MCBRATNEY, 2002).

Funções de “pedotranferência” são caracterizadas por obter informações físico-hídricas do solo através de dados previamente obtidos e de menor custo e complexidade. Tendo como principal função obter informações mais laboriosas de forma a minimizar os custos. As funções de “pedotransfêrencia” fazem uso de informações de fácil acesso contidas em relatórios de levantamento de solos como, textura, porcentagem de matéria orgânica, densidade aparente e salinidade, como forma a prever informações físico-hídricas do solo de maior dificuldade de obtenção. (BUDIMA., BRATNEY, SANTOS, 2003)

De acordo com Gregorich (2006), pode se definir as “pedofunções” como modelos de regressão que permitem por meio de inferência adquirir dados de características desconhecidas do solo através de dados de características conhecidas, tendo como vantagens a facilidade operacional e a redução de custos.

Atualmente, as funções de pedotransferencia são largamente utilizadas na ciência do solo, hidrologia e agrometeorologia para estimar a condutividade hidráulica, curva de retenção e parâmetros relacionados à infiltração. Diversos modelos utilizam essas funções para simular o transporte de água, de ar e de solutos, regimes de temperatura dos solos e da planta, manejo, compactação, estabilidade da estrutura e resistência à penetração mecânica, química do solo e agricultura de precisão (BARROS, 2010).

Segundo Soares (2013), consistem em três os principais métodos para se estimar as propriedades físico-hídricas do solo, sendo elas os métodos de regressão por potencial matricial, métodos do modelo físico e métodos de regressão por parâmetros. No método de regressão por parâmetro, descreve-se a retenção de água (CC e PMP) no solo por uma equação empírica (NASCIMENTO, 2015).

O software SPAW, desenvolvido pela USDA Agricultural Research Service em parceria com o departamento de Engenharia de Biosistemas da Washington State University é um instrumento desenvolvido com o objetivo principal de realizar orçamentos de irrigação (USDA Natural Resources Conservation Service, 2021)



O programa Soil Water Characteristics está incluído na instalação do SPAW, e é usado para simular dados de campo como por exemplo, tensão de água no solo, condutividade hidráulica, capacidade de retenção de água no solo, capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Para isto o mesmo leva em consideração valores reais obtidos por coleta de dados como porcentagem de areia, silte e argila. O programa ainda conta com ajustes para contabilizar o conteúdo de cascalho, compactação, salinidade e matéria orgânica (USDA Natural Resources Conservation Service, 2021).

As equações de pedotransferência utilizadas pelo software foram desenvolvidas por Saxton (2006) e estão representadas a seguir:

$$\theta_{CC} = \theta_{CCt} + [1,283 * (\theta_{CCt})^2 - 0,374 * ((\theta_{CCt}) - 0,015)] \quad (4.5.1)$$

$$\theta_{CCt} = -0,251 * \text{Areia} + 0,195 * \text{Argila} + 0,011 * \text{MO} + 0,006 * (\text{Areia} * \text{MO}) - 0,027 * (\text{Argila} * \text{MO}) + 0,452 * (\text{Areia} * \text{Argila}) + 0,299 \quad (4.5.2)$$

$$\theta_{PMP} = \theta_{PMPt} + (0,14 * \theta_{PMPt} - 0,02) \quad (4.5.3)$$

$$\theta_{PMPt} = -0,024 * \text{Areia} + 0,487 * \text{Argila} + 0,006 * \text{MO} + 0,005 * (\text{Areia} * \text{MO}) - 0,013 * (\text{Argila} * \text{MO}) + 0,068 * (\text{Areia} * \text{Argila}) + 0,031 \quad (4.5.4)$$

$$\theta_{S-CC} = \theta_{(S-CC)t} + (0,636 * \theta_{(S-CC)t} - 0,107) \quad (4.5.5)$$

$$\theta_{(S-CC)t} = 0,278 * \text{Areia} + 0,034 * \text{Argila} + 0,022 * \text{MO} - 0,018 * (\text{Areia} * \text{MO}) - 0,027 * (\text{Argila} * \text{MO}) - 0,584 * (\text{Areia} * \text{Argila}) + 0,078 \quad (4.5.6)$$

$$\theta_S = \theta_{CC} + \theta_{(S-CC)} - 0,097 * \text{Areia} + 0,043 \quad (4.5.7)$$

$$K_S = 1930 * (\theta_S - \theta_{CC})^{(3-\lambda)} \quad (4.5.8)$$

$$B = [(\ln(15000) - \ln(33)) / (\ln(\theta_{CC}) - \ln PMP)] \quad (4.5.9)$$

$$\lambda = \frac{1}{B} \quad (4.5.10)$$

Em que:

-  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$  = umidade volumétrica nos potenciais mátricos de -33 e -1500 kPa;

- $\theta_s$  = umidade de saturação ( $m^3 m^{-3}$ );
- Argila = (%);
- Silte = (%);
- Areia = (%);
- Matéria Orgânica (MO) = ( $g kg^{-1}$ );
- $K_s$  = Condutividade do solo saturado ( $mm h^{-1}$ );
- $B$  e  $\lambda$  = coeficientes da curva de retenção de água

Além das equações definidas por Saxton (1986, 2006) existem outras, como exemplos, temos as apresentadas por Budiman et. al., Bratney et. al., Santos et. al., (2003). (Tabela 1):

**Tabela 1 – Exemplo de funções de pedotransferência desenvolvidas.**

Variáveis preditas	Preditores	Tipo e Localização do solo	Referencias
Parâmetros da equação de Campbell	Combinações de: -Classe textual de campo, estrutura, granulometria -Teor de matéria orgânica, densidade do solo	Queensland, Australian wheat belt (NSW, Vic, AS)	Williams et. Al (1992)
parâmetros da curva de retenção de água de van Genuchten	Granulometria. Teor de argila	Solo arenoso, oeste da Austrália	Smetten e Gregory (1996)
Parâmetros da equação de Campbell	Dois valores de (h) Densidade do solo	Cinturão do trigo Sul, Norte -Sudeste e norte Victória	Cresswell e Paydar (1996)
Parâmetros da equação de Campbell	Um valor de (h) Densidade do solo Areia, silte argila e densidade do solo	Cinturão do trigo Sul, Norte -Sudeste e norte Victória	Paydar e Cresswell (1996)
Parâmetros da equação de Campbell	Um valor de (h) Argila e densidade do solo	Solo superficial de trigo (NSW, Vic, SA) Northeast Territory e North Queensland	Smetten Al. (1999)
Condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ )	Teor de argila	Sul da Austrália, Solo de trigo North Queensland	Smetten e Bristow (1999)

Capacidade de campo medida no campo (solo drenado por 2 dias)	Teor de argila, teor de areia, fração grosseira e densidade do solo	Áreas de cultivo de trigo sequeiro e North Queensland	Littleboy (1998)
Ponto de murcha permanente medido no campo			
Condutividade hidráulica saturada (Ks)	Morfologia de campo	Southern e Eastern Australia	McKenzie e Jacquier (1997)
Capacidade de campo medida "in situ" (solo granulometria, drenado por 2 dias)	Granulometria.	North Queensland Tropical	Bristow et. Al. (1999)
Ponto de murcha permanente medida granulometria "in situ"	Teor de argila	North Queensland Tropical	Bristow et. Al. (1999)
Parâmetros da equação de Campbell	Teor de argila, teor de areia, fração grosseira e densidade do solo	North Queensland Tropical	Bristow et. Al. (1999)

**Fonte: Budiman et. al., Britney et. al., Santos et. al., 2003.**

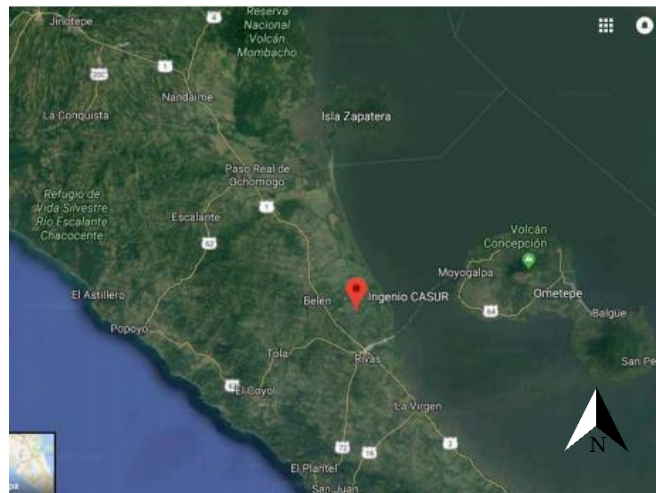
Ao usar os valores estimados pelo software, é importante entender que são estimativas e podem não refletir os valores reais de campo para uma determinada situação (USDA *Natural Resources Conservation Service*, 2021).

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

### 5.1. Área de estudo

Os dados utilizados para desenvolvimento deste trabalho foram extraídos através de amostras de solo realizada pela empresa *Drenacol, Drenajes de Colombia* no ano 2019. As amostras foram obtidas na Usina CASUR (Nicarágua), coordenadas 11E 29' 20", 85S 50' 14", fuso 16N, localizado no estado de Rivas, República da Nicarágua (Figura 3).

**Figura 3 – Localização CASUR S.A.**



**Fonte: Google Earth 2020**

Fundada em 1940 por David Morice Rocha, a usina recebeu inicialmente o nome de *Ingenio Dolores*, apenas em 1993 com sua privatização, a mesma passa a receber o nome de CASUR S.A. Já no ano de 2014 junta-se a usina novos sócios provenientes da Colômbia, que, mais tarde no ano de 2016 deram início ao processo de modernização da usina (História CASUR S.A., 2021).

Nos dias atuais a usina conta com mais de 8000 hectares plantados, dos quais 6800 hectares são de lavoura própria, e os demais correspondem a produtores cooperados.

Atualmente a usina é sub dividida em doze setores de área própria. Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se os dados coletado no setor de *El Salitre*, que contabiliza uma área cultivada de aproximadamente 590 hectares, como pode ser observado nas figuras 4 e 5.

Figura 4 – Área cultivada por cada setor da usina CASUR S.A.

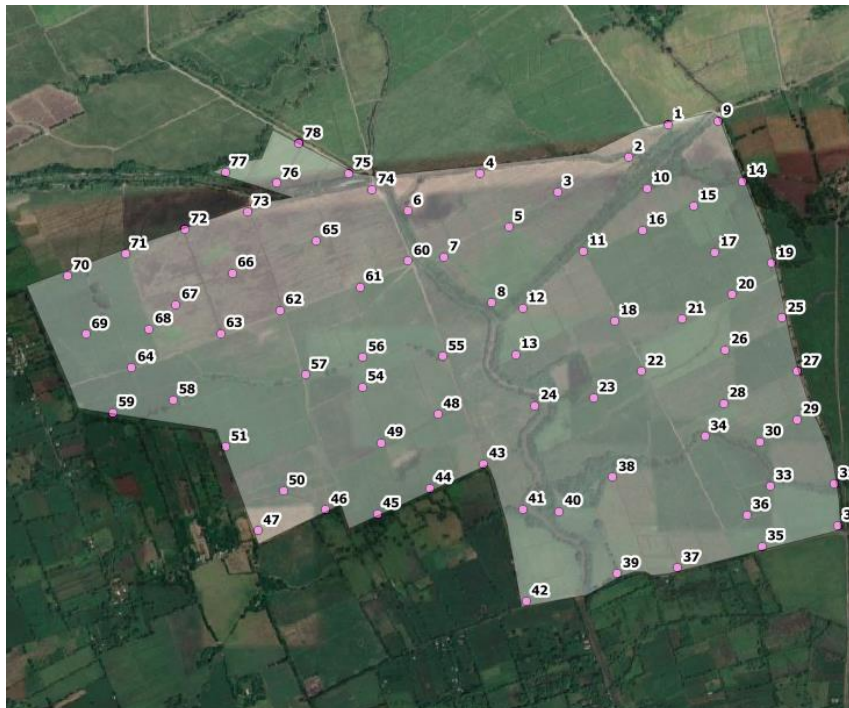
Setor	Área de Caña ( Ha )			
	Total	Cultivo	Semente	Plantado

**Área Própia**

Sector Sur	496.84	488.56	1.70	486.86
San Fernando	437.28	421.16	7.46	413.70
<b>El Salitre</b>	<b>589.42</b>	<b>565.82</b>	<b>27.21</b>	<b>538.62</b>
Los Arcos	627.08	609.18	0.00	609.18
San Jerónimo	1,668.44	1,617.34	0.00	1,617.34
El Javillo	533.90	513.90	37.10	476.80
Santa Justa	501.76	487.82	0.00	487.82
El Sitio	383.29	371.32	0.00	371.32
Ñocarime	265.69	255.05	0.00	255.05
Mecatépillo	649.49	631.00	0.00	457.85
Javier Guerra	694.58	677.92	0.00	276.20
Santa Teresa	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Sub Total Própias</b>	<b>6,847.77</b>	<b>6,639.07</b>	<b>73.47</b>	<b>5,990.74</b>

Fonte: de Casanova et al. e Campos et al., 2014

Figura 5 – Setor El Salitre, Usina CASUR S.A.



Fonte: Drenacol, Drenajes de Colombia, 2019.

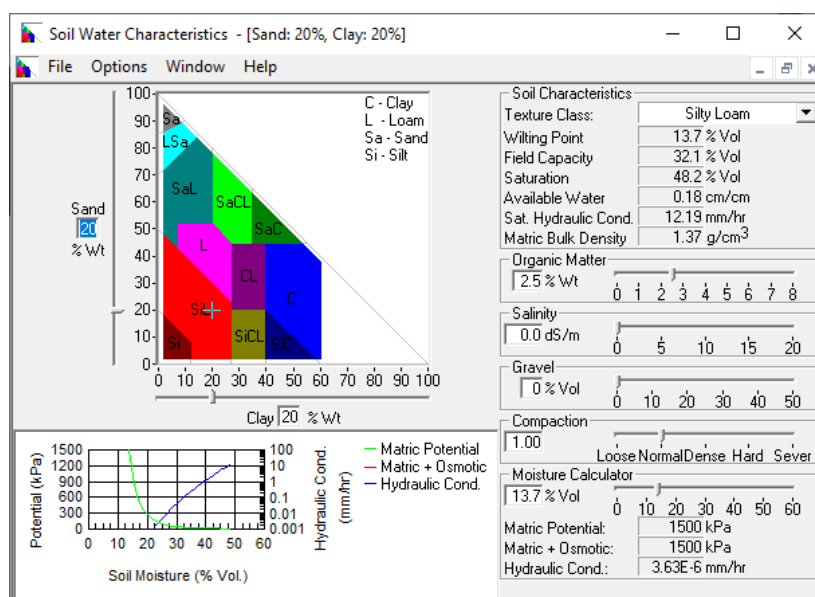
Para coleta das amostras, realizada pela empresa Drenacol, fez-se uso de modelos estatísticos de tal maneira que a área foi sub dividida em 78 pontos de amostragem, embora para a realização deste trabalho o número de pontos utilizados tenha sido inferior. A coleta foi realizada através do método de tradagen de campo, e os resultados foram recebidos em planilha eletrônica que foram disponibilizados pela usina para uso no presente trabalho.

## 5.2. Software SPAW, *Soil Water Characteristics*.

O Software utilizado para execução do trabalho foi o programa *Soil Water Characteristics*, que faz parte do pacote de instalação do software SPAW (USDA).

O objetivo do programa consiste em obter informações físico-hídricas do solo através de equações de "pedotransferência", utilizando dados reais coletados em campo e de fácil obtenção. Os dados de entrada do software são porcentagem de areia, silte e argila, densidade aparente, porcentagem de matéria orgânica e condutividade elétrica, enquanto os dados de saída são, salinidade, condutividade hidráulica, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e ponto de saturação. Como pode-se observar na figura 6, ao analisar-se a interface do programa.

Figura 6 – Software *Soil Water Characteristics*.



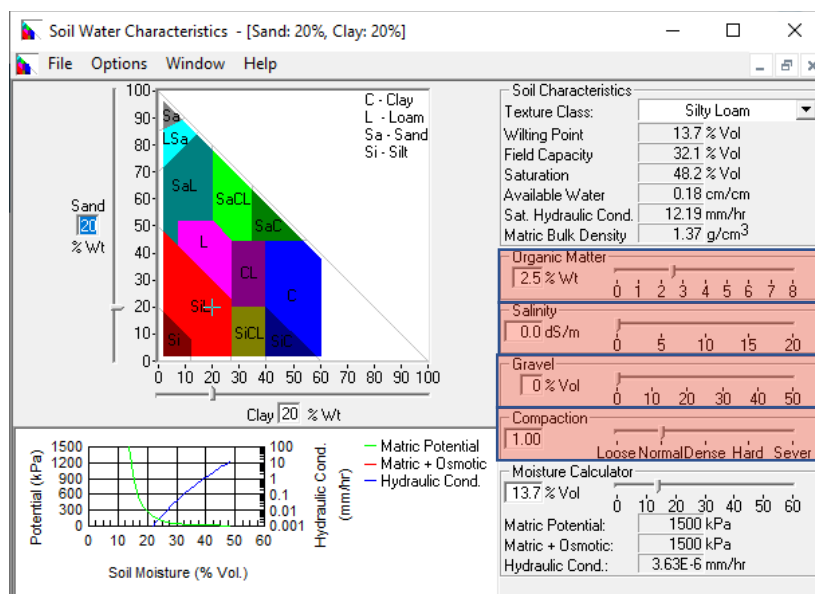
Fonte: Do autor.

Uma vez que os dados são inseridos no programa de forma correta, os resultados são previamente apresentados na tela inicial do software (Figura 7) e pode ser posteriormente salvo no formato TXT.

### 5.3. Limitações do software.

Para garantir a validação dos resultados o programa estabelece algumas limitações para os dados de entrada, como porcentagem de matéria orgânica, salinidade, volume de pedregulhos e limites de compactação do solo (Figura 7).

Figura 7 – limitações do Software *Soil Water Characteristics*.



Fonte: Do autor.

Uma vez que a compactação do solo é uma variável direta para a densidade aparente da amostra, e que o mesmo apresenta limitações de valores pelo programa, que asseguram a validação dos resultados, algumas amostras foram desconsideradas durante a realização deste trabalho uma vez que os valores de densidade aparente obtidos pela amostra de solo realizada pela empresa *Drencol*, encontravam-se fora do limite pré-estabelecido pelo programa.

#### 5.4. Validação de Dados.

Para se verificar a validação entre os dados de campo e os dados estimados pelo software, utilizou-se de alguns pontos nos quais as informações de condutividade hidráulica era existente. Porém vale salientar que o software calcula a condutividade por camada levando em consideração as características granulométricas da camada em questão, e os dados de campo foram obtidos pelo método do furo do trado, que considera a camada de 0 cm a 60 cm como um todo. Assim fez-se um gráfico de correlação entre os valores obtidos pelo Software SPAW e os valores obtidos em laboratório pela empresa *Drenacol*.

#### 5.5. Turno de Rega.

A determinação do turno de rega foi realizada através de cálculos utilizando as equações de 5.5.1 a 5.5.4.

$$ADT = (\theta_{cc} - \theta_{PMP}) * z \quad (5.5.1)$$

$$ADR = ADT * f \quad (5.5.2)$$

$$Et_c = Et_0 * K_c \quad (5.5.3)$$

$$TR = \frac{ADR}{Et_c} \quad (5.5.4)$$

Em que,

- ADT - água disponível total no solo (mm)
- $\theta_{cc}$  e  $\theta_{PMP}$  correspondem a umidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente respectivamente.
- $z$  corresponde a profundidade efetiva do sistema radicular (mm).
- $f$  corresponde ao fator de disponibilidade de água no solo (decimal)
- $Et_c$  corresponde a evapotranspiração da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ ).
- $Et_0$  corresponde à evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ )
- $K_c$  corresponde ao coeficiente de cultura.

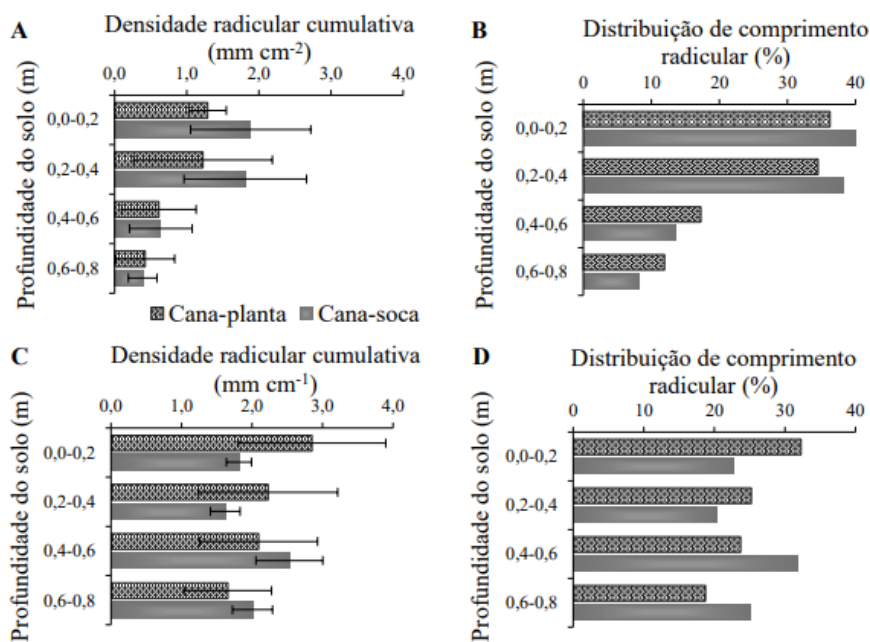


- TR corresponde ao turno de rega (dias).

Segundo Barbosa (2016) a profundidade efetiva das raízes da cana-de-açúcar é de 750 mm, entretanto Arruda et. Al. (1987) estabeleceu em seus estudos que esta profundidade pode variar de 500 a 700 mm, já o manual da irrigação desenvolvido pela CNPH/EMBRAPA (2004) define como padrão o valor de 400 mm.

Em um estudo realizado por Camargo et. al (2014), no qual os autores avaliaram o sistema radicular da cana-de-açúcar cultivada sobre diferentes sistemas de preparo do solo, foi obtido os resultados contidos na figura 9, em que, os gráficos A e C representam a densidade das raízes em função da profundidade, para preparo convencional e preparo “canteirizado” respectivamente e os gráficos B e D representam a porcentagem das raízes em função da profundidade.

**Figura 8 – Avaliação da profundidade das raízes da cana de açúcar em diferentes tipos de plantio.**



Fonte: Camargo et. al., Pires et. al., Scarpate et. al., e ohashi et. al., 2017

Quando observamos os resultados de sistema convencional, a profundidade de 600 mm se torna ainda mais expressiva. Desta forma para o presente estudo foi utilizado o valor de 600 mm como profundidade efetiva.

Para determinar o valor de  $f$  (coeficiente de disponibilidade), fez-se uso da equação disponibilizada pela FAO (Equação 5).

$$f_{tab} + 0,04 * (5 - Et_c) \quad (5.5.1)$$

Em que  $f_{tab}$  é o valor tabelado estabelecido pela FAO, que representa o valor de  $f$  para condição padrão de  $Et_c$  de 5 mm/d.

Para os valores de  $K_c$  (coeficiente de cultura) utilizou-se os valores estabelecidos pela FAO, sendo valores de 0,4; 1,25 e 0,75 os valores de  $K_c$  respectivos ao início, meio e final do cultivo.

Para a elaboração dos cálculos, fixou-se o valor de  $Et_0$  em 6 mm/d. Contudo de acordo com a época do ano este valor pode ser alterado o que irá influenciar de maneira direta na determinação do turno de rega.

## **5.6. Elaboração dos mapas**

Utilizando-se das coordenadas geográficas de cada ponto amostrado, tornou-se possível a criação de diferentes mapas através do software livre *QuantumGis*, tendo como variável principal os valores armazenamento e também o turno de rega de cada ponto para as condições climáticas estabelecidas.

Para a realização dos mapas, fez-se uso do modelo de interpolação, IQD (inverso do quadrado da distância) representado os resultados pela banda de falsa cor.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Validação de dados**

De acordo com Shimakura (2006) a classificação de uma correlação pode variar de bem fraca até muito forte (Tabela 2), a depender do valor de  $R^2$  no intervalo de 0 a 1, ainda segundo a autora, o valor pode variar também como positivo ou negativo. Desta forma, valores positivos de  $R^2$  indicam uma associação positiva e valores negativos uma associação negativa, como pode-se observar na figura 10.

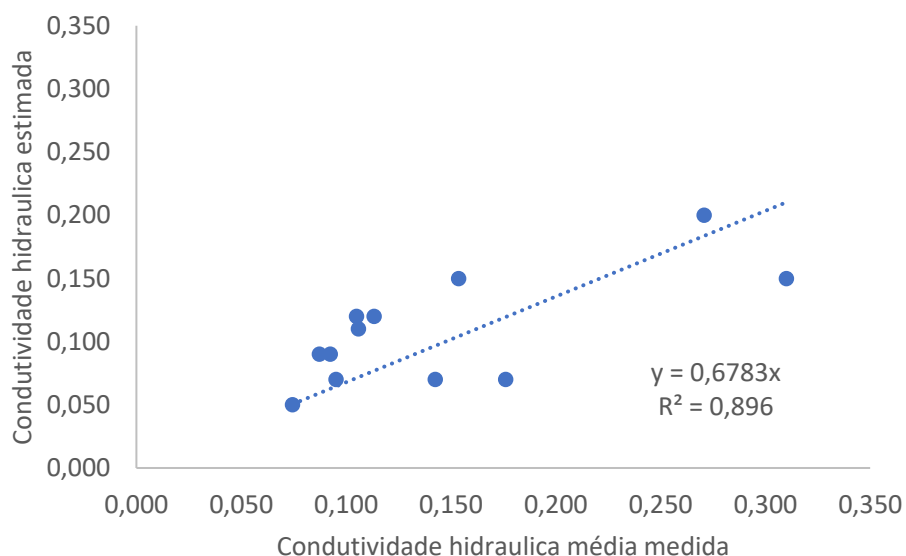
**Tabela 2: Interpretação do valor numérico de uma correlação**

Valor de R <sup>2</sup> (+ ou -)	Interpretações
0,00 a 0,19	Uma correlação bem fraca
0,20 a 0,39	Uma correlação fraca
0,40 a 0,69	Uma correlação moderada
0,70 a 0,89	Uma correlação forte
0,90 a 1,00	Uma correlação muito forte

**Fonte: Shimakura (2006).**

Os resultados obtidos para a correlação entre os dados estimados pelo software e os dados coletados em campo estão apresentados no Figura 9.

**Figura 9: Correlação entre condutividade hidráulica média medida em campo e condutividade hidráulica estimada pelo software**



**Fonte: Do autor**

Nota-se que o coeficiente de R<sup>2</sup> é superior a 0,89, e que de acordo com Shimakura, (2021), a interpretação deste resultado é dada como uma correlação forte validando assim a utilização do software SPAW para determinação de propriedades físico-hídricas do solo.

## **6.2. Dados estimados pelo software**

Os dados estimados pelo software foram organizados em duas tabelas no Excel (Anexo 1 e 2) sendo a primeira referente a camada de 0 cm a 30 cm e a segunda referente a camada de 30 cm a 60 cm.

Assim como os dados estimados pelo software, os dados de disponibilidade de água e turno de rega foram organizados em duas tabelas, (Tabela 3 e 4), e estão apresentados a seguir.

**Tabela 3: Valores calculados de turno de rega e água disponível no solo total e real para camada de 0 cm a 30 cm**

Pontos	ADT	ADR	TR (d)	
	mm	mm	Kc inicial	Kc Medio
2	16,2	12,2	5	2
3	45,6	34,4	14	5
4	58,5	44,1	18	6
7	53,4	40,3	17	5
9	50,7	38,2	16	5
12	46,5	35,1	15	5
13	47,7	36,0	15	5
14	44,7	33,7	14	4
16	51	38,5	16	5
17	58,8	44,3	18	6
19	16,2	12,2	5	2
21	49,5	37,3	16	5
23	58,2	43,9	18	6
25	53,4	40,3	17	5
28	60,3	45,5	19	6
29	54,9	41,4	17	6
32	55,2	41,6	17	6
34	48,3	36,4	15	5
37	48	36,2	15	5
40	47,1	35,5	15	5
42	52,5	39,6	16	5
43	52,8	39,8	17	5
45	61,5	46,4	19	6
47	49,8	37,5	16	5
49	50,7	38,2	16	5
51	57,6	43,4	18	6
55	59,1	44,6	19	6
56	58,5	44,1	18	6
58	57,6	43,4	18	6
59	41,1	31,0	13	4
61	55,5	41,8	17	6
63	57,9	43,7	18	6
68	55,2	41,6	17	6
70	49,8	37,5	16	5
71	49,5	37,3	16	5
73	54,6	41,2	17	5
74	48,9	36,9	15	5
77	56,4	42,5	18	6
78	35,1	26,5	11	4
Média	50,5	38,1	16	5
Desvio padrão	9,8	7,4	3	1

**Fonte: Do autor**

**Tabela 4: Valores calculados de turno de rega e água disponível no solo total e real para camada de 0 cm a 60 cm**

Ponto	ADT	ADR	TR (d)		
	mm	mm	Kc inicial	Kc Medio	Kc Final
2	67,5	50,6	21	7	11
3	97,8	73,4	31	10	16
4	93	69,8	29	9	16
7	92,7	69,5	29	9	15
9	99,3	74,5	31	10	17
12	92,4	69,3	29	9	15
13	110,7	83,0	35	11	18
14	93,9	70,4	29	9	16
16	103,5	77,6	32	10	17
17	117,6	88,2	37	12	20
19	68,7	51,5	21	7	11
21	96,3	72,2	30	10	16
23	109,5	82,1	34	11	18
25	110,1	82,6	34	11	18
28	114,3	85,7	36	11	19
29	107,1	80,3	33	11	18
32	104,7	78,5	33	10	17
34	104,1	78,1	33	10	17
37	97,5	73,1	30	10	16
40	105,9	79,4	33	11	18
42	107,7	80,8	34	11	18
43	109,8	82,4	34	11	18
45	116,7	87,5	36	12	19
47	96,3	72,2	30	10	16
49	105,6	79,2	33	11	18
51	94,8	71,1	30	9	16
55	107,4	80,6	34	11	18
56	109,2	81,9	34	11	18
58	104,4	78,3	33	10	17
59	97,5	73,1	30	10	16
61	109,8	82,4	34	11	18
63	104,1	78,1	33	10	17
68	98,4	73,8	31	10	16
70	97,8	73,4	31	10	16
71	97,2	72,9	30	10	16
73	104,1	78,1	33	10	17
74	109,8	82,4	34	11	18
77	108	81,0	34	11	18
78	92,7	69,5	29	9	15
Média	101,5	76,1	32	10	17
Desvio padrão	10,5	7,8	3	1	2

**Fonte: Do autor**

De acordo com as tabelas 2 e 3 é possível observar que existe uma modesta diferença entre os valores de água disponível no solo para as diferentes camadas. Uma possível justificativa para esta diferença está relacionada às características físico-hídricas de cada camada. Segundo o relatório realizado pela empresa Drenacol (2019) no setor El Salitre, da usina CASUR S.A., a densidade aparente dos pontos amostrados apresentou uma ligeira diferença entre as camadas superior e inferior (Tabela 5).

Ao observar os resultados de cálculo obtidos para água disponível no solo através dos dados estimados pelo software, pode-se perceber uma certa continuidade nos valores, uma vez que os valores obtidos para a camada de 0 a 60 cm são o dobro dos valores obtidos para a camada de 0 a 30 cm. Este resultado já era esperado uma vez que o valor da profundidade efetiva foi duplicado e como já citado foi modesta as variações entre os resultados estimados pelo software para as diferentes camadas de solo.

De acordo com Aguiar (2008), a estrutura do solo pode ser avaliada pela densidade do solo, macro e micro porosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo. Desta forma se estabelece que a densidade aparente do solo está diretamente relacionada a porosidade do mesmo. SAAD (1992) estabelece que a faixa de diâmetro dos poros responsável pela retenção de água no solo varia de 0,05 a 0,0002 mm, desta maneira segundo o autor a quantidade de água disponível no solo aumenta proporcionalmente com a quantidade de micro poros.

Com relação ao turno de rega, pode-se observar que o desvio padrão determinado para as diferentes fases de crescimento da cultura foi consideravelmente pequeno indicando que os valores se encontram próximos a média. O maior intervalo entre irrigação, foi calculado durante a fase inicial de desenvolvimento da planta para a camada de 0 a 60 cm, embora seja um valor alto entre irrigações este resultado é aceitável em casos específicos como no estágio inicial da cana soca, uma vez que sua raiz já está desenvolvida alcançando profundidades de até 60 cm.

**Tabela 5: Densidade aparente em g cm<sup>-3</sup> para os pontos amostrados no setor de El Salitre usina CASUR S.A.**

Pontos	Profundidade (cm)		Pontos	Profundidade (cm)		Pontos	Profundidade (cm)		Pontos	Profundidade (cm)	
	0 - 30	30 - 60		0 - 30	30 - 60		0 - 30	30 - 60		0 - 30	30 - 60
1	1,5	1,43	21	1,4	1,36	41	1,64	1,51	62	1,36	1,58
2	1,36	1,37	22	1,39	1,47	42	1,06	0,97	63	1,6	1,7
3	1,38	1,35	23	1,39	1,46	43	1,44	1,4	64	1,56	1,43
4	1,36	1,36	24	1,73	1,72	44	1,53	1,41	65	1,42	1,42
5	1,37	1,44	25	1,36	1,54	45	1,73	1,8	66	1,47	1,37
6	1,58	1,49	26	1,47	1,5	46	1,52	1,52	67	1,62	1,63
7	1,59	1,6	27	1,68	1,63	47	1,3	1,26	68	1,55	1,46
9	1,32	1,29	28	1,55	1,62	48	1,5	1,49	69	1,46	1,39
10	1,48	1,53	29	1,67	1,62	49	1,32	1,34	70	1,25	1,63
11	1,53	1,49	30	1,59	1,94	50	1,36	1,34	72	1,11	1,17
12	1,55	1,69	32	1,74	1,7	51	1,42	1,48	74	1,54	1,55
13	1,69	1,51	33	1,23	1,49	54	1,71	1,79	75	1,38	1,46
14	1,49	1,23	34	1,68	1,59	55	1,46	1,45	76	1,34	1,21
15	1,38	1,56	35	1,49	1,62	56	1,45	1,45	77	1,55	138
16	1,49	1,5	36	1,56	1,61	57	1,62	1,63	78	1,45	1,4
17	1,49	1,46	37	1,36	1,36	58	1,42	1,52			
18	1,4	1,47	38	1,45	1,51	59	1,41	1,47			
19	1,62	1,41	39	1,18	1,24	60	1,51	1,55			
20	1,47	1,55	40	1,42	1,5	61	1,56	1,37			

Fonte: Drenacol, 2019

### 6.3. Mapas de armazenamento de água no solo

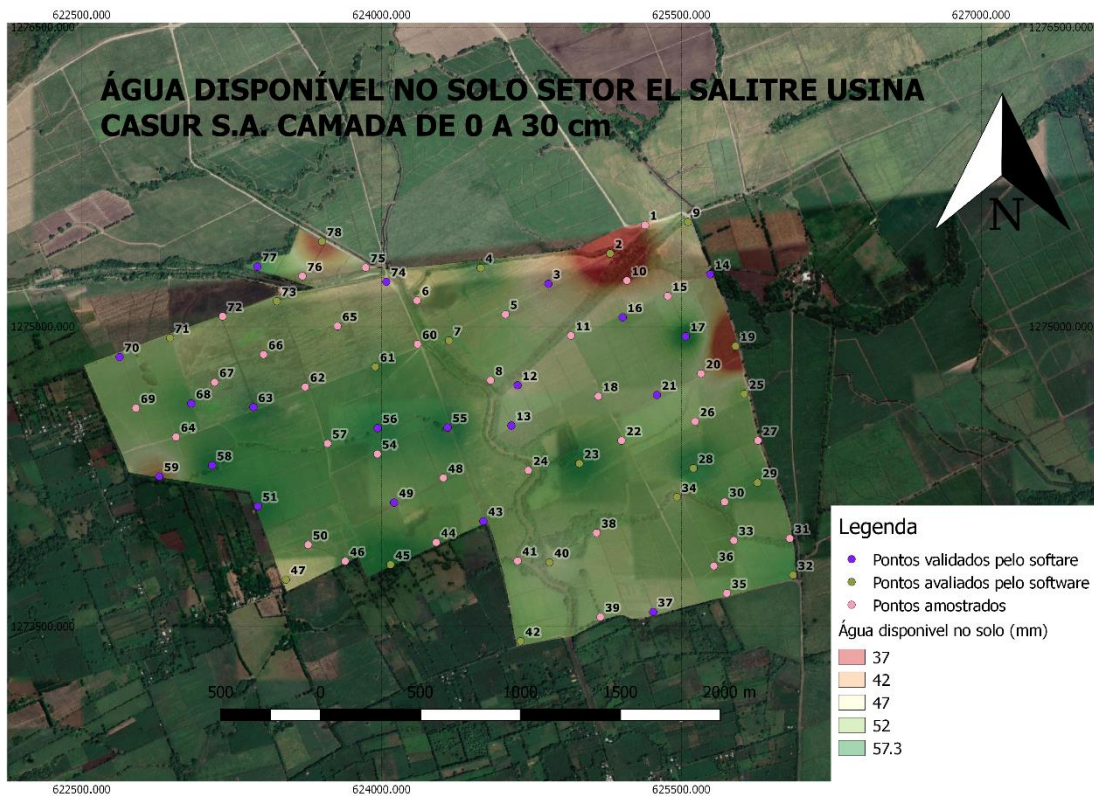
Através dos resultados estimados pelo software (Anexo 1 e 2), fez-se os cálculos de disponibilidade de água no solo e turno de rega (Tabela 2 e 3). Com o intuito de facilitar a análise dos resultados obtidos através dos cálculos, os dados foram georreferenciados através do software livre *QuantunGis*, e posteriormente, foi feita a interpolação dos valores de armazenamento de água no solo e turno de rega.

Para a camada superior, utilizou-se os dados estimados pelo software e uma profundidade efetiva de 300 mm, para realizar os cálculos, já para a camada inferior fez-se a média entre os resultados estimados para a camada superior e inferior do solo, e utilizou-se a profundidade efetiva de 600 mm.

Uma vez que os pontos foram interpolados foi possível elaborar os mapas de armazenamento de água (Figura 10 e 11).

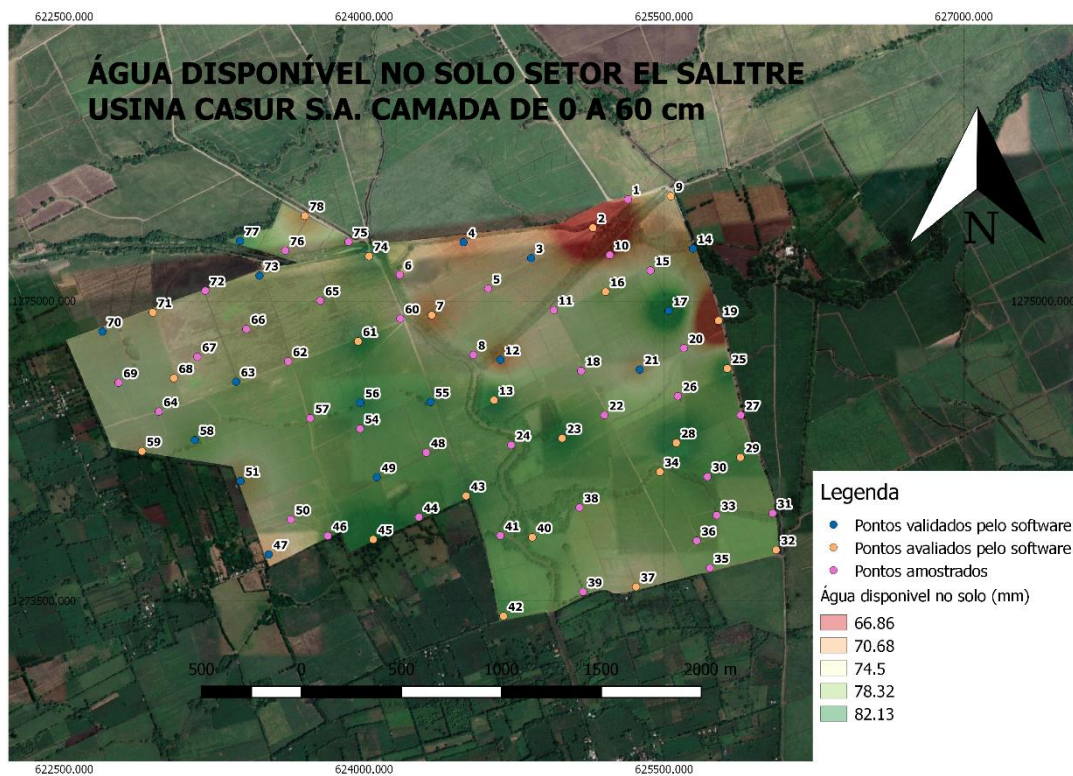


**Figura 10: Armazenamento de água do setor El Salitre camada de 0 cm a 30 cm usina CASUR S.A.**



Fonte: Do autor

**Figura 11: Armazenamento de água setor El Salitre camada de 0 cm a 60 cm usina CASUR S.A.**



Fonte: Do autor

Através da análise dos mapas é possível perceber manchas em ambos os mapas indicando locais no qual o armazenamento de água está comprometido, ou diverge de maneira significativa da média, como justificativa pode-se dizer que a compactação do solo nesses pontos está influenciando o armazenamento de água.

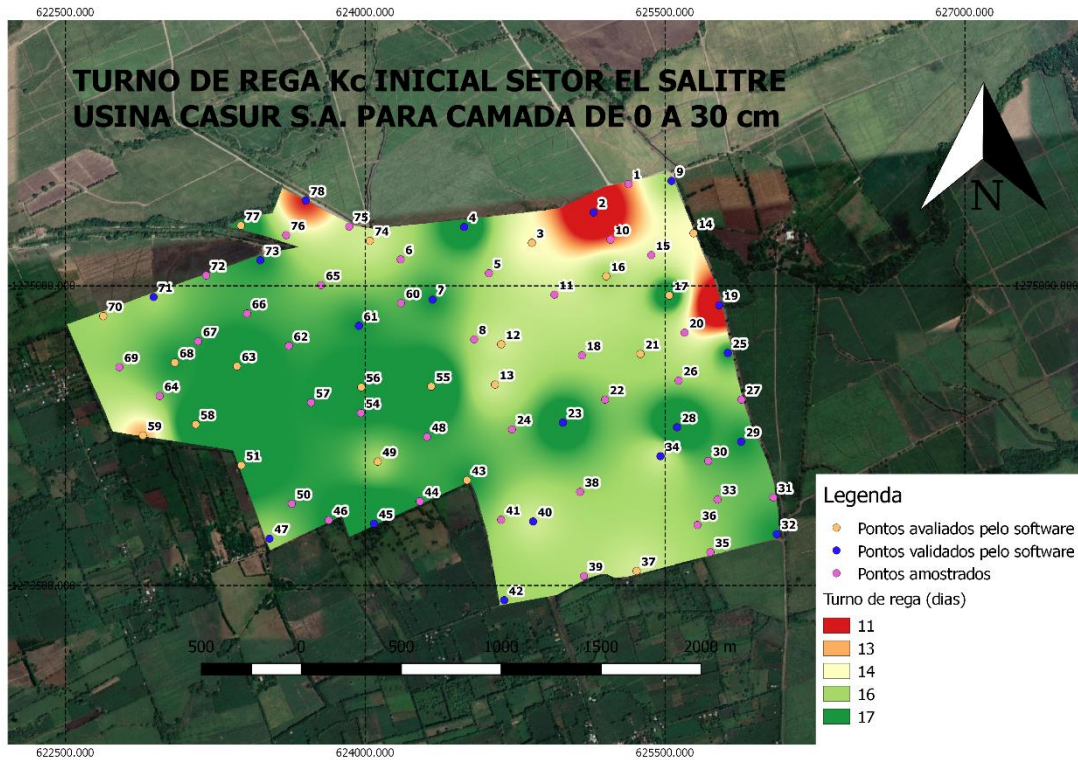
Segundo Pankhurst et al. (2003), um dos principais problemas relacionado ao manejo da cultura de cana-de-açúcar está relacionado a compactação do solo com a utilização de maquinário pesado em especial sob condições de elevado conteúdo de água no solo. Em um estudo realizado por Lima Filho (2015), em que o autor tinha por objetivo compreender a performance da irrigação por sulcos abertos e em declive, chegou-se à conclusão de que o volume de água infiltrado através da irrigação no começo até aproximadamente o meio do sulco é consideravelmente maior que o volume infiltrado no final, o que segundo Pankhurst et al. (2003), favorece a compactação do solo nestas áreas já Silva et. al. (2010) associa comportamentos anômalos no solo com a variabilidade espacial dos atributos do solo, que está relacionada com processos pedogenéticos, Carvalho (2005) explica que processos pedogenéticos são: transformação; translocação; adição; e remoção de solo e que tais processos ocorrem diariamente. Como forma de solucionar este problema a EMBRAPA, recomenda a realização da subsolagem com profundidade de até 60 cm no terreno.

#### **6.4. Mapas de turno de rega**

Assim como os dados de armazenamento de água, os dados de turno de rega foram interpolados e posteriormente apresentados na forma de mapas. Os mapas de turno de rega para a camada inicial do solo estão apresentados a seguir.

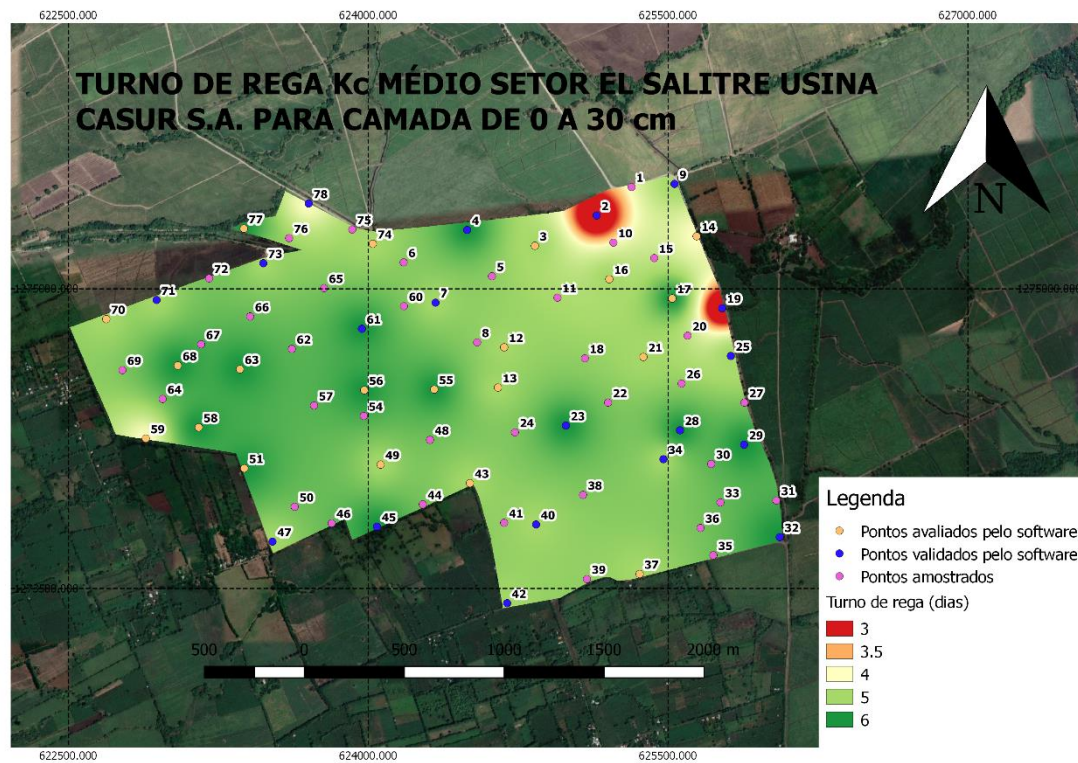


Figura 12: Turno de rega setor El Salitre camada de 0 cm a 30 cm usina CASUR S.A.



Fonte: Do autor

Figura 13: Turno de rega setor El Salitre camada de 0 cm a 30 cm usina CASUR S.A.



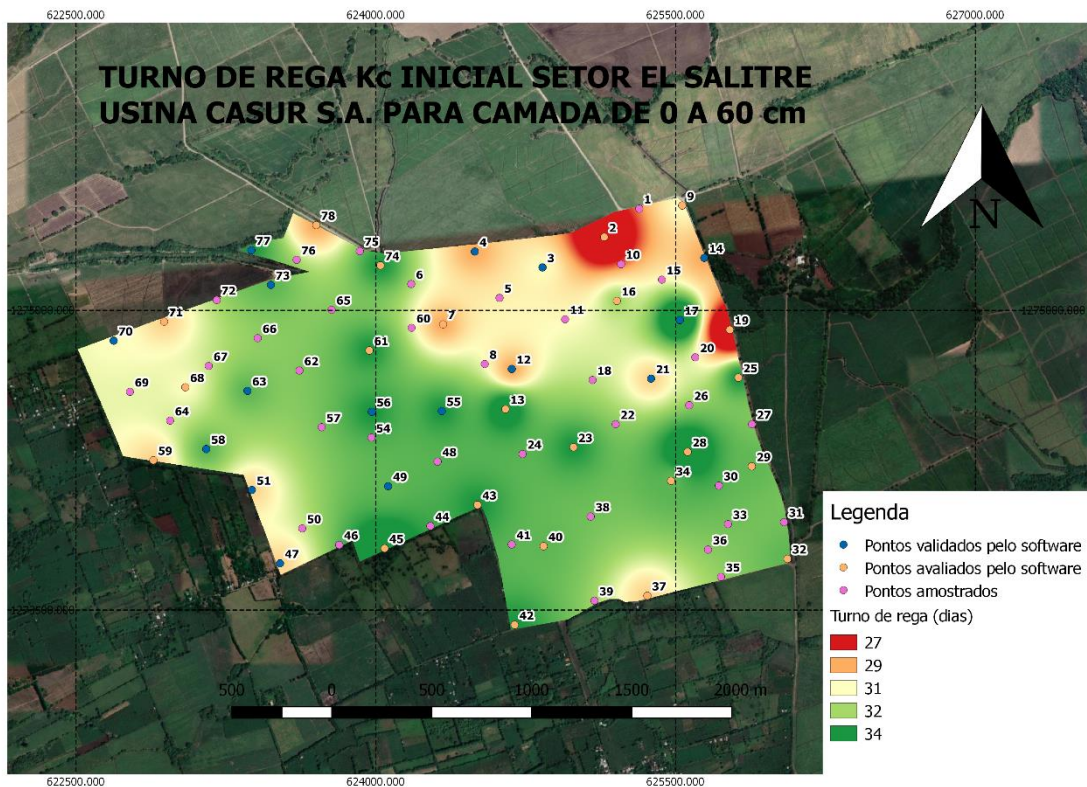
Fonte: Do autor

Através da análise dos gráficos é possível perceber que a maior variação entre os valores de turno de rega coincidiu com as áreas no qual o armazenamento de água estava inferior ao demais valores (Figuras 10 e 11), o que já era esperado uma vez que o turno de rega possui relação direta com a capacidade de armazenamento de água do solo, desta forma, se o solo possui uma boa capacidade de armazenamento, o intervalo entre irrigações conseqüentemente tende a ser maior. Silva et. Al. (1998) explica que para se obter um bom benefício com o uso da irrigação é necessário que os critérios adotados para o manejo da irrigação resultem em aplicações de água com quantidade compatível as necessidades requeridas pela cultura. Logo para que cada área receba a quantidade necessária de água faz-se necessário uma irrigação mais laboriosa levando em consideração o turno de rega definido para cada área do mapa.

Os mapas de turno de rega para a camada de 0 a 60 cm apresentaram os seguintes resultados.

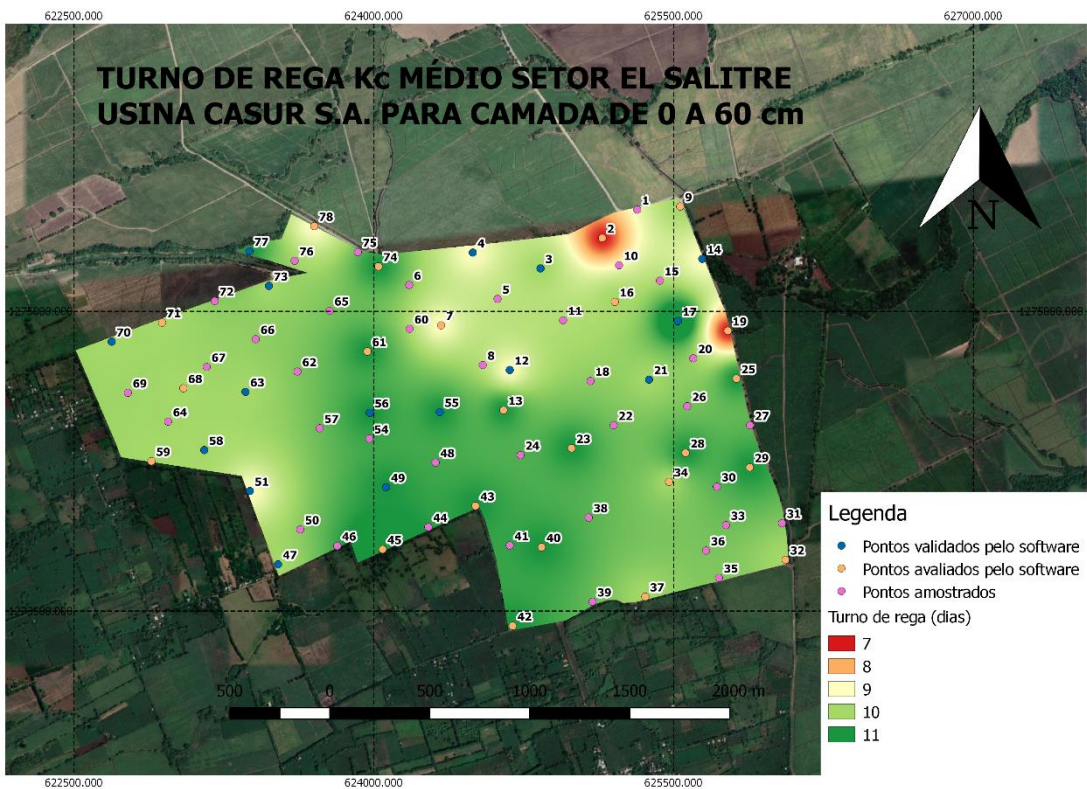


**Figura 14: Turno de rega setor El Salitre, camada de 0 a 60 cm Kc inicial usina CASUR S.A.**



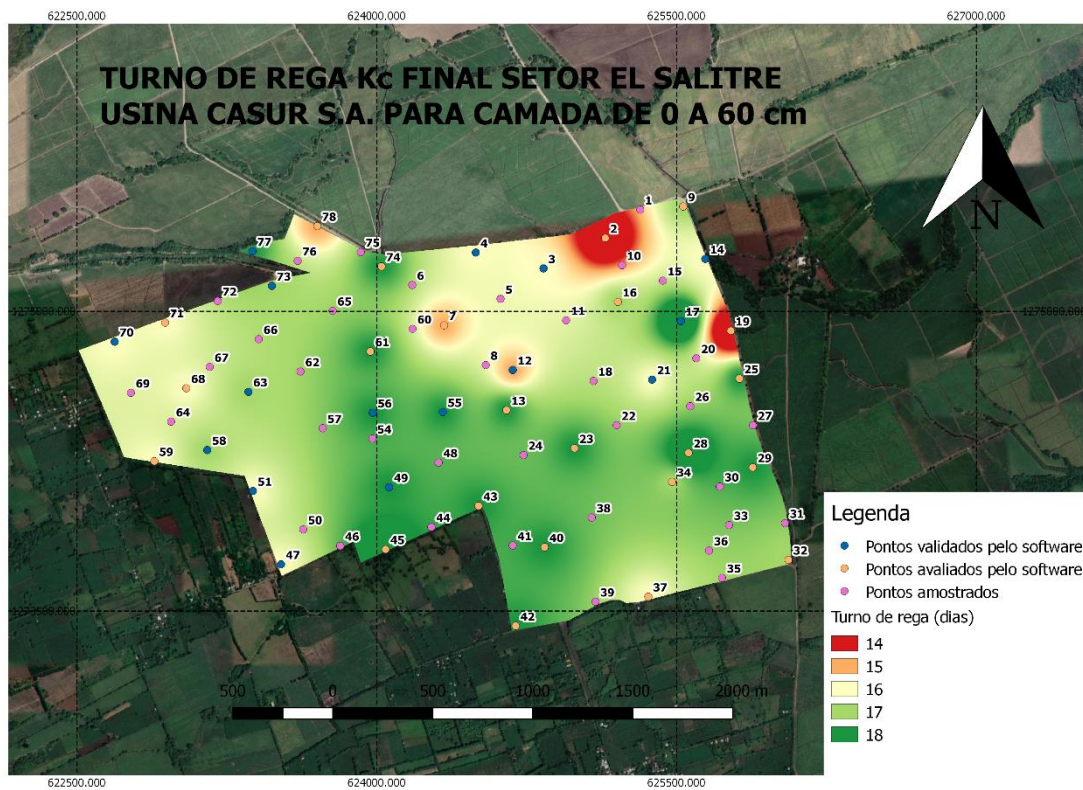
Fonte: Do autor

**Figura 15: Turno de rega setor El Salitre, camada de 0 a 60 cm Kc médio, usina CASUR S.A.**



Fonte: Do autor

Figura 16: Turno de rega setor El Salitre, camada de 0 a 60 cm Kc final, usina CASUR S.A.



Fonte: Do autor

Torna-se possível perceber com a análise dos mapas que as variações mais significativas ocorreram na fase de desenvolvimento inicial da planta. Como o turno de rega para a fase de desenvolvimento inicial da planta é consideravelmente alto devido a profundidade efetiva das raízes espera-se que exista maior variação. Já na fase média e final de desenvolvimento da planta é possível perceber que os pontos que apresentaram menores valores de turno de rega coincidiram novamente com os pontos em que o armazenamento de água era significativamente inferior, o que já era esperado como citado anteriormente. É importante ressaltar também que a variação do turno de rega na fase média e final de desenvolvimento foi pequena, uma vez que de acordo com a análise dos mapas (Figura 15 e 16), nota-se que a variação mais expressiva foi de 9 a 11 dias e 16 a 17 dias respectivamente.

## **7. CONCLUSÃO**

A Identificação e caracterização das propriedades físico hídricas do setor El Salitre da usina CASUR S.A. foi realizada com sucesso, tornando os dados disponíveis para a usina no uso em seu manejo para a irrigação.

Através do uso de correlação foi possível identificar que é possível o uso do software SPAW quanto para obtenção de dados importante como condutividade hidráulica, ponto de murcha permanente e capacidade de campo apenas com informações de fácil obtenção e baixo custo presentes em relatórios de análise de solo.

Ainda através do software, criou-se um banco de dados, que, com o auxílio do software QuantunGis, contém informações importantes de mapas de armazenamento de água no solo e turno de rega, além do desenvolvimento de planilhas capazes de auxiliar o produtor na tomada de decisão.

É importante ressaltar que embora o software tenha cumprido com êxito o que foi proposto para o desenvolvimento deste trabalho, o mesmo ainda apresenta limitações quanto a entrada de dados, portanto é compreensível que para algumas situações específicas o mesmo possa apresentar restrições de uso.



## 8. Bibliografia

AGUIAR, M. I.; **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais.** p. 79, Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2008.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação.** 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BOUMA, J. **Using soil survey data for quantitative land evaluation.** In: STEWART, B.A., ed. *Advances in soil science.* New York, Springer Verlag, v.9. p.177- 213, 1989.

BUDIMAN. M., BRATNEY A. B., SANTOS M. L. M.; **Revisão sobre Funções de Pedotransferência (PTFs) e Novos Métodos de Predição de Classes e Atributos do Solo;** EMBRAPA, p. 47; 2003.

CAMARGO L., PIRES R. C. M., SCARPARE F. V., OHASHI A. Y. P.; **Sistema radicular da cana-de-açúcar cultivada sob diferentes sistemas de preparo do solo,** COMBEA, 2017.

CARVALHO J. P., **Gênese, fatores de formação e processos pedogenéticos,** site Pedologia fácil, rede agro services, 2005.

Carvalho JM de, Vieira RCS & Daniel L **Determinação das características de avanço da água em sulcos de irrigação.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Salvador. Anais, SBEA. CD-ROM. 2002.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento.** 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>

do NASCIMENTO, M., RODRIGUES, W. e SCHLINDWEIN, M. 2015. **Reflexos do setor canavieiro para o crescimento econômico da microrregião de dourados em mato grosso do sul.** *Organizações Rurais & Agroindustriais.* 17, 2, 2015.

FERREIRA, P. A. **Drenagem.** In: **CURSO de engenharia de irrigação. Módulo XI.** Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. 2001. 167p.

GREGORICH E. G.; **Chemical and Biological Characteristics of Physically Uncomplexed Organic Matter,** article in *Soil Science Society of America Journal,* 2006.

LEVIEN; S. L. A. **Irrigação por superfície,** UFERSA; p.55, 2012.

LIMA FILHO A. F., **Determinação analítica da performance da irrigação por sulcos abertos e em declive,** *Rev. Ceres,* Viçosa, v. 62, n.3, p. 251-258, 2015.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. - **O uso da irrigação no Brasil.** Embrapa Cerrados (CPAC). p. 73-82, 1999.



MACHADO, F. de B. P. **Brasil, a doce terra – História do setor**. 2003. Disponível em: <https://jornalcana.com.br/Conteudo/HistoriadoSetor.asp>

MARAFANTE, L. J.; **Tecnologia da fabricação do álcool e do açúcar**. São Paulo, Editora Ícone, 1993.

MARCOLIN, C.D., **Uso de funções de Pedotransferência entre atributos físicos de solos sob plantio direto**. Tese de doutorado em Agronomia, Universidade de Passo Fundo, 2009.

MCBRATNEY, A. B.; **On digital soil mapping**, Geoderma, p. 117, 2002.

MIRANDA; E.. **Áreas cultivadas no brasil e no mundo**, POTÊNCIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, p. 26, 2018.

Mohamed HI, Abas OM, Elabdin Araz EL & Ramlawi HR. Development of a Muskingum- **Cunge routing model for design of furrow irrigation**. Agriculture And Biology Journal of North America, p.1014-1030, 2010.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (FAO). < <http://www.fao.org>>

PANKHURST, C.E. et al. **Management practices to improve soil health and reduce the effects of detrimental soil biota associated with yield decline of sugarcane in Queensland**, Australia. Soil & Tillage Research, v. 72, n. 2, p. 125-137, 2003.

PETRY, M. T.; ZIMMERMANN, F. L., CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; KUNZ, J. H. **Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 531-539, 2007.

RODRIGUES, Luciana Deotti. **A cana-de-açúcar como Matéria-prima para a Produção de Biocombustíveis: Impactos Ambientais e o Zoneamento Agroecológico como Ferramenta para Mitigação**. 2010. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

SAAD, A. M. **Uso do tensiômetro de faixas em pivô central**. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/irrigacao.html>, 2002.

SANTANA, M. B.; FILHO, M. R. R.; MARQUES, F. A.; CUNHA, T. J. F.; NASCIMENTO, A. F. **Variação da composição granulométrica em solos na Ilha de Assunção, Cabrobó** – Pernambuco XXXV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Natal – RN, p. 4, 2015.

SHIMAKURA, S.E. **Coeficiente de determinação**. 2006. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/>.

Silva S. A., **Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo**, Revista Ciência Agronômica, v. 41, n. 1, p. 1-8, 2010.

TESTEZLAF, R.. **Uso da irrigação em ambientes protegidos: cuidados e atenções.** ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna, ABID, Brasília, DF, v. 53, p. 18-22, 2002.

TESTEZLAF, R.; MATSURA E. E.; CARDOSO J. L. **Conceitos, importância e a irrigação no Brasil,** Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 2017.

World Water Assessment Programme (UNESCO WWAP),  
<<http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-24-irrigated-land/#:~:text=Today%2C%20irrigated%20agriculture%20covers%20275,40%25%20of%20global%20food%20production>>

### ANEXO 1: dados estimados para a camada 0 cm a 30 cm

Pontos	PMP	CC	Saturação	Água disponível	Ks	Salinity
	%Vol	%Vol	%Vol	cm/cm	mm/h	dS/m
2	3	8,4	49,4	0,05	170,78	0,3
3	26,1	41,3	52,7	0,15	3,68	0,3
4	17,7	37,2	54,2	0,19	13,4	0,3
7	20	37,8	54,6	0,18	12,34	0,3
9	13,1	30	51,3	0,17	26,49	0,3
12	24,7	40,2	53,1	0,15	5,38	0,3
13	24,2	40,1	54,6	0,16	7,61	0,3
14	27,2	42,1	56,7	0,15	7,39	0,3
16	22,3	39,3	55,8	0,17	11,35	0,3
17	15,2	34,8	54,3	0,2	20,53	0,3
19	5,1	10,5	53,1	0,05	175,77	0,3
21	23,7	40,2	55,6	0,16	9,21	0,4
23	14,8	34,2	53,5	0,19	19,9	0,4
25	16,1	33,9	56	0,18	28,12	0,4
28	15,2	35,3	53,3	0,2	16,63	0,4
29	20,2	38,5	57,3	0,18	16,97	0,1
32	18	36,4	51,9	0,18	10,21	0,1
34	24,1	40,2	55,2	0,16	8,5	0,1
37	24,4	40,4	57,6	0,16	12,44	0,1
40	12,2	27,9	51,7	0,16	35,5	0,1
42	22,2	39,7	57,7	0,18	14,53	0,1
43	20,6	38,2	54,6	0,18	11,4	0,1
45	12,9	33,4	57,3	0,21	37,59	0,1
47	23,4	40	57,6	0,17	13,48	0,8
49	22,5	39,4	56,7	0,17	12,93	0,1
51	17,4	36,6	54,9	0,19	16,51	0,1
55	18,5	38,2	56,3	0,2	16,05	0,1
56	18,8	38,3	56,8	0,19	16,75	0,1
58	18,8	38	53,8	0,19	10,7	0,1
59	27,7	41,4	54,3	0,14	5,16	0,1
61	17,3	35,8	53,9	0,18	16	0,1
63	17,4	36,7	54,7	0,19	15,85	0,1
68	20,4	38,8	55,1	0,18	11,3	0,1
70	22,4	39	51,8	0,17	5,48	0,1
71	23,5	40	55	0,16	8,49	0,1
73	20,4	38,6	55,4	0,18	12,41	0,1
74	24,7	41	55,6	0,16	7,92	0,8
77	19,9	38,7	55,1	0,19	11,61	0,8
78	26,5	38,2	48,8	0,12	2,81	0,8

## ANEXO 2: dados estimados para a camada 0 cm a 60 cm

Pontos	PMP (%Vol)			CC (%Vol)			Saturação %Vol	Água disponível cm/cm	Ks in/hr	Salinity dS/m
	0-30 cm	30-60 cm	Média	0-30 cm	30-60 cm	Média				
2	3,0	20,2	11,6	8,4	37,3	22,9	54,5	0,2	13,2	0.8
3	26,1	20,4	23,3	41,3	37,8	39,6	53,6	0,2	10,4	0.7
4	17,7	32,5	25,1	37,2	44,0	40,6	55,4	0,1	3,4	0.8
7	20,0	30,0	25,0	37,8	43,1	40,5	52,8	0,1	2,2	0.8
9	13,1	22,9	18,0	30,0	39,1	34,6	52,9	0,2	6,6	0.2
12	24,7	24,6	24,7	40,2	39,9	40,1	51,6	0,2	4,1	0.1
13	24,2	16,5	20,4	40,1	37,5	38,8	53,3	0,2	11,5	0.2
14	27,2	23,9	25,6	42,1	40,3	41,2	52,6	0,2	4,8	0.2
16	22,3	16,9	19,6	39,3	34,4	36,9	50,6	0,2	11,6	0.2
17	15,2	17,4	16,3	34,8	37,0	35,9	51,7	0,2	9,1	0.1
19	5,1	18,2	11,7	10,5	35,7	23,1	52,4	0,2	12,4	0.1
21	23,7	23,6	23,7	40,2	39,2	39,7	51,9	0,2	5,2	0.1
23	14,8	22,9	18,9	34,2	40,0	37,1	54,6	0,2	8,0	0.1
25	16,1	14,9	15,5	33,9	33,8	33,9	51,7	0,2	16,0	0.1
28	15,2	18,2	16,7	35,3	36,2	35,8	52,9	0,2	12,4	0.1
29	20,2	18,2	19,2	38,5	35,6	37,1	52,4	0,2	12,7	0.1
32	18,0	24,5	21,3	36,4	41,0	38,7	55,1	0,2	7,1	0.1
34	24,1	18,6	21,4	40,2	37,2	38,7	53,1	0,2	10,9	0.1
37	24,4	22,4	23,4	40,4	38,9	39,7	56,2	0,2	13,0	0.1
40	12,2	15,5	13,9	27,9	35,1	31,5	52,4	0,2	14,5	0.1
42	22,2	20,2	21,2	39,7	38,6	39,2	57,3	0,2	16,8	0.1
43	20,6	16,5	18,6	38,2	35,5	36,9	51,9	0,2	12,3	0.4
45	12,9	15,1	14,0	33,4	33,5	33,5	54,2	0,2	24,0	0.4
47	23,4	26,7	25,1	40,0	42,2	41,1	56,4	0,2	7,0	0.4
49	22,5	20,8	21,7	39,4	39,1	39,3	53,0	0,2	7,2	0.4
51	17,4	30,9	24,2	36,6	43,3	40,0	54,3	0,1	3,1	0.4
55	18,5	22,0	20,3	38,2	38,1	38,2	52,1	0,2	7,1	0.4
56	18,8	22,7	20,8	38,3	39,6	39,0	54,1	0,2	7,9	0.4
58	18,8	25,1	22,0	38,0	40,7	39,4	53,1	0,2	4,9	0.4
59	27,7	19,2	23,5	41,4	38,0	39,7	53,4	0,2	9,8	0.4
61	17,3	12,5	14,9	35,8	30,6	33,2	49,2	0,2	18,3	0.4
63	17,4	26,1	21,8	36,7	41,5	39,1	54,3	0,2	5,2	0.4
68	20,4	25,9	23,2	38,8	40,3	39,6	53,3	0,1	5,4	0.4
70	22,4	23,7	23,1	39,0	39,7	39,4	53,7	0,2	6,9	0.1
71	23,5	25,1	24,3	40,0	41,0	40,5	55,7	0,2	7,8	0.1
73	20,4	24,5	22,5	38,6	41,0	39,8	54,5	0,2	6,2	0.1
74	24,7	14,9	19,8	41,0	35,2	38,1	52,3	0,2	14,4	0.1
77	19,9	22,3	21,1	38,7	39,5	39,1	51,8	0,2	5,0	0.1
78	26,5	18,0	22,3	38,2	37,2	37,7	52,6	0,2	10,0	0.1