



**HIGOR PINHEIRO BELLO**

**ANÁLISE TEMPORAL DO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO NA  
USINA CASUR, NICARÁGUA**

**LAVRAS – MG  
2023**

**HIGOR PINHEIRO BELLO**

**ANÁLISE TEMPORAL DO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO NA USINA CASUR,  
NICARÁGUA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador:

Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto

**LAVRAS – MG  
2023**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecer é reconhecer que não somos capazes de realizar sozinhos qualquer função que nos é atribuída, ou simplesmente reconhecer que não somos capazes de viver sem ter pessoas ao nosso lado que nos ajudam sem nem mesmo perceber. Agradeço a Deus por sempre iluminar e abençoar meu caminho quando me deparo com situações inesperadas e, aparentemente, difíceis. Agradeço imensamente a minha família, meu pai Wester, minha mãe Walquíria e a minha irmã Italoema que sempre me apoiaram nas decisões e que se superaram para me ver feliz e realizado durante toda a jornada estudantil. Agradeço a minha queridíssima namorada Ariane, que iluminou meu caminho, clareou minhas ideias e tornou meus dias mais felizes e mais alegres. Agradeço, é claro, aos colegas que a UFLA me proporcionou, aos núcleos de estudo que ampliaram minha formação, em especial, o NEI- Núcleo de Estudos em Irrigação e todo o time que o compõe. Ao professor Dr. Adriano Valentim Diotto que sempre se mostrou atencioso e preocupado com nosso aprendizado. Obrigado a todos e saibam que cada um à sua maneira foi responsável por mais esta conquista.

## RESUMO

O nível do lençol freático pode ser entendido como a superfície que separa a zona aerada da zona saturada de água do solo. Nesse sentido, o mesmo pode variar ou permanecer em certo nível durante um período de tempo em decorrência do regime pluviométrico, do excesso de irrigação e devido à composição textural do solo. Ao identificar - se o comportamento do nível do lençol freático de uma determinada área, é possível estimar a velocidade natural de drenagem do solo, bem como evitar a asfíxia das plantas cultivadas por intermédio da implementação da rede de drenagem. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi identificar o comportamento do lençol freático de quatro glebas, na usina CASUR (Nicarágua), nas quais se cultivam cana-de-açúcar, sendo elas: El Salitre, El Sitio, Ñocarime e Los Arcos. Para isso, foram instalados pontos de observação georreferenciados, de maneira aleatória, dentro de cada gleba, registrando-se a profundidade do lençol freático de 0 até 02 metros de diferença em relação à superfície do solo. Ademais, foram realizadas leituras periódicas em cada ponto durante os anos de 2020 e 2021. De posse desses dados, que constavam o nível do lençol freático em cada ponto no dia da amostra das leituras, foi realizada uma interpolação desses valores dentro de cada gleba, por meio da ferramenta spline, do software ArcGIS. Como resultado, foi possível diagnosticar a variação do nível do lençol freático, entre 0 e 0,5 metros, 0,5 e 1 metro, 1 e 1,5 metros, 1,5 a 2 metros e a mais de 2 metros de profundidade, em regiões específicas dentro de cada gleba, no decorrer do tempo estudado. Nesse ínterim, verificou-se a necessidade de drenagem em todas as áreas estudadas em todos os meses analisados. Através da interpolação, foi possível detectar pequenas regiões dentro de cada gleba, nas quais o lençol se manteve mais elevado no decorrer do tempo, sinalizando maior demanda de drenagem daquela parcela, bem como pontos nos quais ele se manteve mais profundo e propício para o bom desenvolvimento radicular da cana- de- açúcar. No ano de 2021, o lençol se manteve mais próximo à superfície em todas as glebas em relação ao ano de 2020. A partir das leituras georreferenciadas, amostradas periodicamente, dentro das glebas da usina CASUR, foi possível realizar representações visuais consistentes do comportamento do lençol freático ao longo do tempo nas áreas estudadas, por meio da interpolação dos dados em software GIS. Desse modo, esses dados servirão como ferramentas para a otimização do sistema produtivo da usina, bem como para melhores tomadas de decisões, a fim de contribuir para um desenvolvimento sustentável da produção de alimentos e de energia.

**Palavras-chave:** Drenagem. GIS. Interpolação. Lençol Freático. Spline.

## ABSTRACT

The water table level can be understood as the surface that separates the aerated zone from the water-saturated zone of the soil. In this sense, it can vary or remain at a certain level during a period of time due to the rainfall regime, excessive irrigation and due to the textural composition of the soil. By identifying the behavior of the water table level in a given area, it is possible to estimate the natural velocity of soil drainage, as well as to avoid suffocation of cultivated plants through the implementation of the drainage network. Thus, the objective of this work was to identify the behavior of the water table of four pieces of land, in the CASUR mill (Nicaragua), where sugar cane is grown, namely: El Salitre, El Sitio, Ñocarime and Los Arcos. For this, georeferenced observation points were installed, randomly, within each piece of land, recording the depth of the water table from 0 to 02 meters of difference in relation to the surface of the soil. In addition, periodic readings were carried out at each point during the years 2020 and 2021. With these data in hand, which included the water table level at each point on the day of the sample readings, an interpolation of these values was carried out within each plot, using the spline tool in ArcGIS software. As a result, it was possible to diagnose the variation in the water table level, between 0 and 0,5 meters, 0,5 and 1 meter, 1 and 1,5 meters, 1,5 to 2 meters and more than 2 meters deep, in specific regions within each plot. , over the time studied. In the meantime, the need for drainage was verified in all areas studied in all analyzed months. Through interpolation, it was possible to detect small regions within each plot, in which the water table remained higher over time, indicating a greater demand for drainage in that plot, as well as points where it remained deeper and more conducive to good health. root development of sugarcane. In the year 2021, the water table remained closer to the surface in all plots compared to the year 2020. From the georeferenced readings, periodically sampled, within the plots of the CASUR plant, it was possible to make consistent visual representations of the behavior of the water table water table over time in the studied areas, through the interpolation of data in GIS software. In this way, this data will serve as tools for optimizing the plant's production system, as well as for better decision-making, in order to contribute to the sustainable development of food and energy production.

**Keywords:** Drainage. GIS. Interpolation. Groundwater. Spline.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Interpolação de ponderação de distância inversa de média móvel .....	15
Figura 02 – Áreas de produção da Usina Casur .....	16
Figura 03 – Área de El Salitre .....	17
Figura 04 – Área de Los Arcos.....	18
Figura 05 – Área de El Sitio .....	18
Figura 06 – Área de Ñocarime .....	19
Figura 07 – Bateria piezométrica e poço de observação .....	20
Figura 08 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 05/06/2020.....	22
Figura 09 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 27/06/2020.....	23
Figura 10 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 15/07/2020.....	24
Figura 11 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 08/08/2020.....	25
Figura 12 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 03/09/2020.....	26
Figura 13 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 07/06/2021 .....	27
Figura 14 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 07/07/2021 .....	28
Figura 15 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 18/08/2021 .....	29
Figura 16 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 08/09/2021 .....	30
Figura 17 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 12/10/2021 .....	31
Figura 18 – Comportamento temporal do nível do lençol freático em El Salitre nos anos de 2020 e 2021	32
Figura 19 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 03/06/2020.....	34
Figura 20 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 24/06/2020.....	35
Figura 21 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 14/07/2020.....	36
Figura 22 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 01/08/2020.....	37
Figura 23 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 01/09/2020.....	38
Figura 24 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 29/06/2021 .....	39
Figura 25 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 27/07/2021.....	40
Figura 26 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 17/08/2021.....	41
Figura 27 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 06/09/2021.....	42
Figura 28 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 11/10/2021.....	43
Figura 29 – Comportamento temporal do nível do lençol freático em El Sitio nos anos de 2020 e 2021 ..	44
Figura 30 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 04/06/2020 .....	46
Figura 31 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 26/06/2020 .....	47
Figura 32 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 15/07/2020 .....	48
Figura 33 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 08/08/2020 .....	49
Figura 34 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 02/09/2020 .....	50
Figura 35 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 07/06/2021 .....	51
Figura 36 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 27/07/2021 .....	52
Figura 37 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 16/08/2021 .....	53
Figura 38 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 17/09/2021 .....	54
Figura 39 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 14/10/2021 .....	55

Figura 40 – Comportamento temporal do nível do lençol freático em Los Arcos nos anos de 2020 e 2021	56
Figura 41 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 02/06/2020	58
Figura 42 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 22/06/2020	59
Figura 43 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 13/07/2020	60
Figura 44 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 05/08/2020	61
Figura 45 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 31/08/2020	62
Figura 46 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 22/06/2021	63
Figura 47 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 26/07/2021	64
Figura 48 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 16/08/2021	65
Figura 49 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 16/09/2021	66
Figura 50 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 11/10/2021	67
Figura 51 – Comportamento temporal do nível do lençol freático em Ñocarime nos anos de 2020 e 2021	68

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	8
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1.	Lençol Freático	9
2.2.	Cana- de -açúcar	11
2.3.	Solo	13
2.4.	Ferramentas para Identificação do Comportamento do Lençol Freático ao Longo do Tempo	13
2.4.1.	Geomática e o sistema de informação geográfica	13
2.4.2.	Ferramentas de interpolação	15
3.	MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1.	Caracterização da Área de Estudo	16
3.2.	Pontos de Monitoramento	19
3.3.	Elaboração e Interpolação dos Mapas	20
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1.	Comportamento do Lençol Freático na Área El Salitre em 2020	21
4.2.	Comportamento do Lençol Freático na Área El Salitre em 2021	27
4.3.	Comportamento do lençol freático na área El Salitre em 2020 e 2021	33
4.4.	Comportamento do Lençol Freático na Área El Sitio em 2020	34
4.5.	Comportamento do Lençol Freático na Área El Sitio em 2021	39
4.6.	Comportamento do Lençol Freático na Área El Sitio em 2020 e 2021	44
4.7.	Comportamento do Lençol Freático na Área Los Arcos em 2020	45
4.8.	Comportamento do Lençol Freático na Área Los Arcos em 2021	51
4.9.	Comportamento do Lençol Freático na Área Los Arcos em 2020 e 2021	56
4.10.	Comportamento do Lençol Freático na Área Ñocarime em 2020	58
4.11.	Comportamento do Lençol Freático na Área na área Ñocarime em 2021	63
4.12.	Comportamento do Lençol Freático na Área Ñocarime em 2020 e 2021	68
5.	CONCLUSÃO	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a ONU, Organização das Nações Unidas, a população mundial atingiu 8 bilhões de pessoas no ano de 2022. Vale ressaltar que, segundo esse informativo, a população alcançará 9 bilhões de pessoas em 2037. Frente a isso, se faz necessário o aumento da eficiência da produção de alimentos para suprir a demanda mundial, atrelada ao desenvolvimento sustentável. Uma forma de aumentar a produtividade agrícola é melhorar os sistemas de produção em áreas já agricultáveis, evitando abertura de novas terras e preservando a biodiversidade.

Nesse ínterim, a agricultura desempenha um papel chave na sustentabilidade da raça humana. Para que a agricultura possa suprir essa necessidade, pode-se destacar o aumento da eficiência de manejo em decorrência de alguns fatores como: luz, temperatura, espécie fotossintetizante, ar, água e o ecossistema solo. Sendo o equilíbrio desses três últimos fatores o cerne deste artigo.

Ainda nesse contexto, para que a planta possa se desenvolver ela necessita de um substrato de sustentação, ou seja, o solo, composto por minerais, água, oxigênio e microrganismos, todos em quantidades adequadas. Por exemplo, numa situação em que o solo se encontra com excesso de água, isto é, escassez de oxigênio, as bactérias envolvidas no processo de fixação de nitrogênio passam a operar em modo desnitrificação, diminuindo a disponibilidade de nitrogênio no solo. Mineral esse que é crucial para o crescimento vegetativo.

Além da redução da disponibilidade de nitrogênio no solo, a asfixia das raízes resulta em um crescimento reduzido do sistema radicular, que fica escurecido, e posteriormente leva à morte da planta. Desse modo, como o crescimento saudável das plantas é vital para a população humana, entender como o ecossistema solo se interage com água no decorrer do tempo é de extrema importância, uma vez que, entendida essa relação, é possível manejar esse ecossistema, por meio de plantios sazonais ou implementação de sistemas de drenagem em favor do desenvolvimento sustentável.

A partir disso, foram analisados os níveis do lençol freático em quatro glebas da Usina Casur S. A, localizada na Nicarágua, durante os anos de 2020 e 2021. Esses talhões apresentam encharcamentos sazonais gerados pela oscilação temporal do nível do lençol freático presente nas áreas.

Nesse sentido, os solos desses talhões são do tipo vertissolo. Solos com essa classificação, caracterizam-se por apresentarem grande variação de volume em decorrência do teor de água. Quando estão úmidos, eles se expandem, dilatam e aumentam seu volume. Em contrapartida, quando estão secos se contraem tanto que aparecem rachaduras desde o topo do perfil, até a profundidades de dois metros, em alguns casos, tornando o entendimento da relação solo, água, ar e planta ainda mais importante nessas áreas.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi entender o comportamento do nível de profundidade do lençol freático ao longo do tempo em quatro glebas da usina CASUR. Além de identificar as regiões dentro de cada gleba, bem como as ocasiões em que há elevação do nível do lençol freático e demanda de drenagem para o bom desenvolvimento das lavouras.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Lençol Freático**

O lençol freático constitui a água infiltrada no subsolo, advinda de precipitações presentes no ciclo hidrológico, que se mantêm presentes nos espaços intergranulares dos solos ou nas fraturas rochosas (BARBOSA 2007).

Segundo Iritani e Ezaki (2012), essa água infiltrada forma uma massa que circula entre as áreas porosas que compõem o solo, como também, em fraturas fruto do rompimento de rochas devido às movimentações terrestres.

De acordo com Azevedo Almeida Filho (1998), os aquíferos subterrâneos podem ser classificados como confinados ou freáticos. Os confinados são aqueles que estão dispostos sob uma pressão maior que a atmosférica, pois se localizam abaixo de uma camada impermeável, que por sua vez está abaixo da camada permeável do solo. Já os freáticos, também conceituados como livres, são aqueles que se localizam entre a camada porosa e o topo do solo, estando assim sob a pressão atmosférica. A partir desse ponto de vista, o nível do lençol freático pode ser entendido como a superfície que separa a zona saturada da zona aerada do solo.

Brouyère et al. (2004) verificou que os mecanismos de recarga dos lençóis freáticos e aquíferos ocorrem principalmente pelo fluxo gravitacional, pela porosidade, cobertura vegetal, composição química/textural do solo, em decorrência das precipitações continentais condizentes com o ciclo hidrológico da água.

Em certas ocasiões, o nível do lençol freático se eleva e permanece próximo à superfície por longos períodos. Esse fenômeno pode ocorrer devido à baixa condutividade hidráulica do solo, ou elevadas precipitações em um curto espaço temporal. Esse excesso de umidade, equivalente a uma baixa aeração na zona radicular, afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas e acarreta baixas na produtividade da lavoura (KRAMER, 1969).

O excesso hídrico no solo, principalmente na parte próxima à superfície do solo, por longos períodos de tempo, causa redução na respiração, na absorção e no transporte de nutrientes para a parte aérea das plantas. Além disso, pode ocorrer a formação de compostos tóxicos e proliferação de patógenos na rizosfera (CRUCIANI, 1986).

Além do dano direto à fisiologia vegetal da planta, a flutuação do nível do lençol freático aumenta a lixiviação dos nutrientes. Quando o nível está elevado, os sais como, cloreto e o nitrato, presentes na rizosfera, são facilmente absorvidos pelo lençol freático e carreados para camadas mais profundas, durante o processo natural de drenagem no solo (BARTON et al., 2006). Nesse viés, na maioria das culturas, como cana-de-açúcar, soja, milho, a zona efetiva de absorção radicular situa-se entre 0 e 0,8 metros. A partir dos 0,5 metros de profundidade, as plantas despendem mais de energia e absorvem menor quantidade de fertilizantes.

A hipóxia, déficit na disponibilidade de oxigênio para as plantas, é o principal fator de stress para as plantas em solos encharcados, que têm o sistema radicular afetado diretamente e a parte aérea indiretamente. A tolerância a este tipo de situação varia de espécie para espécie, bem como de sua carga genética e período de exposição ao alagamento (Malik e Tomer, 2003; Yin et al., 2009; Islam et al., 2011).

Experimentos realizados com a cultura do milho apontam que o estágio fenológico que mais gerou perdas em produtividade, devido ao encharcamento, foi o florescimento. Sendo que na fase final do ciclo, o efeito do alagamento na produtividade foi menor (CRUCIANI, 1981b; SILVA, 1982; CRUCIANI; MINAMI, 1982; CRUCIANI, 1985).

Ainda nesse ínterim, segundo Halbac Cotoara Zamir (2022), a exposição contínua da planta de cana-açúcar a um solo encharcado induz efeitos negativos à fotossíntese, além de alterações fisiológicas do crescimento e na estrutura radicular, como também acúmulo de sódio no caldo da cana-de-açúcar, afetando assim a qualidade e bom desenvolvimento da cultura (HALBAC-COTOARA-ZAMFIR, 2022).

## 2.2. Cana- de -açúcar

A cana-de-açúcar se originou na Oceania, na região onde hoje é a ilha de Nova Guiné (MACHADO, 2003). Essa é uma região de clima tropical, composta, majoritariamente, por organossolos, chernossolos, cambissolos e argissolos segundo a classificação textural brasileira (EMBRAPA, 2006). Desde os primeiros contatos do homem com a cana de açúcar, a cultura demonstrou grande importância econômica e social. Sendo a principal fonte de renda brasileira durante uma época da colonização portuguesa, por exemplo.

Além da produção de açúcar, bem como seus derivados, para alimentação humana, a cana-de-açúcar consiste em um alimento rico e nutritivo para a alimentação animal, principalmente de ruminantes. Sendo ela, uma importante cultura agrícola que desempenha um papel extra quando destinada à produção de energia e de combustível. Inclusive, a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE), a classificou como a segunda mais importante fonte de energia primária do Brasil.

Para que a planta de cana- de -açúcar se desenvolva no seu pleno potencial genético, além das demandas térmicas, da iluminação dos minerais e da água, bem como seu resguardo sanitário de pragas e doenças, a cultura necessita de boa aeração no solo. Sendo que a tolerância ao excesso de umidade depende, dentre esses outros fatores, do desenvolvimento do sistema radicular e estado fenológico em que a planta se encontra no período de encharcamento (MACHADO et al. 2009, BASSOI et al. 2011).

Outra particularidade importante, diz respeito à longevidade do canavial. Frequentemente há um aumento do número de cortes sucessivos em uma mesma lavoura em prol da economicidade do empreendimento. Sendo assim, é preciso conhecer os estádios fenológicos em que a cana-de-açúcar é mais tolerante ao excesso de umidade. De forma que possa sincronizar os cortes com o desenvolvimento da cultura em períodos nos quais elas tolerarão mais o encharcamento na rizosfera (SOUZA, 2010).

Um estudo realizado por Paula (2008), fez uma comparação de cana-planta versus cana-soca, submetidas a um tratamento no qual o lençol freático se manteve a 0,4 metros de profundidade. Como resultado, a cana-planta produziu 40% a mais que a cana-soca.

O desenvolvimento radicular é o principal componente vegetal afetado pelo excesso constante de umidade na rizosfera. Segundo Otto (2009), o maior crescimento de raízes favorece a produtividade das soqueiras subsequentes.

O trabalho realizado por Souza (2010), identificou o estágio inicial de cana-soca, a rebrota, como o mais sensível a longos períodos de encharcamento no solo. Além disso, na fase final, houve também redução dos teores de açúcar que ficaram mais dissolvidos. As raízes da cana-de-açúcar, em situações favoráveis como solo de alta porosidade, fertilidade e umidade na quantidade certa, podem explorar até 5 metros de profundidade. Porém, segundo Doorenbos e Kassam (1979), 100% da extração de água, por um canal sob irrigação, acontece de 0 a 2 metros de profundidade no máximo.

Blackburn (1984) verificou que 50% do total das raízes da cana-de-açúcar estudada na época, mensurados através do peso, se encontram nos primeiros 0,2 metros de profundidade e 85% até 0,6 metros de profundidade do solo. Por outro lado, Souza (2010) constatou que 50% do volume total de raízes da cultivar testada, se encontrava entre 0,4 e 0,8 metros de profundidade. De modo que a profundidade da maior concentração de raízes da cana de açúcar, pode variar conforme a cultivar tipo de solo e manejo empregado.

Para o cultivo de cana-de-açúcar, em várzeas, há um padrão de drenos descrito por Mingoti et al. (2006). Usa-se, segundo esse método, valetas de aproximadamente 1,4 metros de profundidade, espaçadas em cerca de 80 metros. Vale ressaltar que o eficaz dimensionamento econômico de uma rede de drenagem, deve ser baseado em critérios técnicos e específicos para cada área em particular. Este padrão, também foi empregado por Duarte et al (2001), independente das propriedades físico-hídricas do solo.

A modelagem e o entendimento do comportamento do nível do lençol freático é uma importante ferramenta que pode melhorar e otimizar os sistemas de drenagem agrícola. O fato é que segundo Halbac-Cotiara-Zamfir (2022) o encharcamento do solo de 0 a 0,15 metros de profundidade reduz drasticamente o crescimento e a sobrevivência da cana-de-açúcar, o que acarreta perdas de 15 a 45% no rendimento esperado da lavoura, sendo que os lençóis freáticos que permanecem constantemente acima dos 0,2 metros de profundidade prejudicam mais que exposições periódicas ao alagamento.

Tavares et al (2017) constatou falhas no índice de maturação da cana-de-açúcar exposta a inundações e submetida ao rebaixamento do lençol freático inferior a 30 cm por 12 dias em Latossolo.

### **2.3. Solo**

Os solos das áreas analisadas, são classificados como argilosos e franco-argilosos. Sendo assim, apresentam aspecto maciço, plástico e pegajoso, se caracterizando pela alta retenção de umidade nos primeiros horizontes (EMBRAPA, 2006). São de cor preta, cinza ou marrom escuro, com diferentes cores de glei ao longo do perfil, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, essa composição de glei indica a presença do lençol freático sob ou próximo à superfície por longos períodos de tempo, hidromorfia, baixa drenagem natural, além da susceptibilidade de compactação, reduzindo assim a aeração na rizosfera (EMBRAPA, 2018).

## **2.4. Ferramentas para Identificação do Comportamento do Lençol Freático ao Longo do Tempo**

### **2.4.1. Geomática e o sistema de informação geográfica**

A Geografia, segundo Aronoff (1991), é uma ponderação científica das superfícies terrestres e sua inter-relação com o clima e os recursos naturais e, mais especificamente sobre suas variações na localização espacial e temporal. Dessa maneira, muitas das vertentes relacionadas à produção agrícola são de natureza geográfica, uma vez que estão diretamente ligadas às condições ambientais, ao manejo dos recursos naturais e a variação dessas no espaço e no tempo. Nesse sentido, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) possibilitam a representação e compilação dessas informações espaciais na forma de mapas. Um SIG consiste em um banco de dados, no qual todas as informações estão ligadas a uma referência geográfica espacial (latitude e longitude) (SELVAM, 2019).

Um mapa corresponde a uma representação gráfica, georreferenciada, da superfície da terra. É constituído por alguns elementos de área, pontos e linhas que são posicionados com referência a um sistema de coordenadas, latitude e longitude, desenhado em escalas e projeções específicas (SELVAM, 2019).

SIG, ou GIS termo na língua inglesa, designa a exploração de computadores, por meio de softwares, que contém dados consistentes para criar e exibir mapas digitais. Uma de suas vantagens, é que ele possibilita a identificação das relações espaciais entre diferentes feições do mapa (SELVAM, 2019). O aprimoramento de dados em GIS, pode identificar o que existe em um determinado local, onde podem ser encontrados recursos específicos, quais são as tendências ou o

que muda ao longo tempo, qual padrão espacial existe e se é possível fazer uma modelagem (GOODCHIL et al., 1992).

Para a criação de um SIG, são envolvidas 4 etapas, sendo elas:

- Entrada de dados, àqueles coletados periodicamente nos pontos amostrais georreferenciados, transcritos no Excel;
- Armazenamento dos dados dentro do software, conversão dos dados planilhados para pontos georreferenciados contendo as informações condizentes com cada ponto;
- Análise e modelagem dos dados, interpolação dos pontos dentro de cada gleba;
- Saída e apresentação dos resultados em forma de mapas representativos.

O ArcGIS é um software de Sistema de Informação Geográfica (GIS) que fornece ferramentas para gerar, editar e analisar dados georreferenciados, através da sinergia entre a geomática e a estatística. Através da sua interface, é possível criar mapas precisos e georreferenciados que tornam a visualização das áreas e sua composição mais propícias para uma boa tomada de decisão.

Ainda nesse contexto, quando se objetiva mensurar flutuação do nível do lençol freático, dentro de uma gleba, é impossível medir todos os pontos dentro dessa área geográfica. Entretanto, através de amostras em determinados pontos representativos dentro dessa mesma área, é possível estimar os valores para outros pontos desconhecidos dentro do talhão. Como resultado, se obtém uma representação visual do nível do lençol freático através do processo de interpolação presente no software ArcGIS. Assim, tal ferramenta, cria uma superfície que modela os fenômenos amostrados da melhor maneira possível, levando em consideração que pontos próximos uns dos outros são mais parecidos que aqueles mais distantes, portanto quaisquer valores da posição são estimados baseados em valores de pontos próximos.

#### **2.4.2. Ferramentas de interpolação**

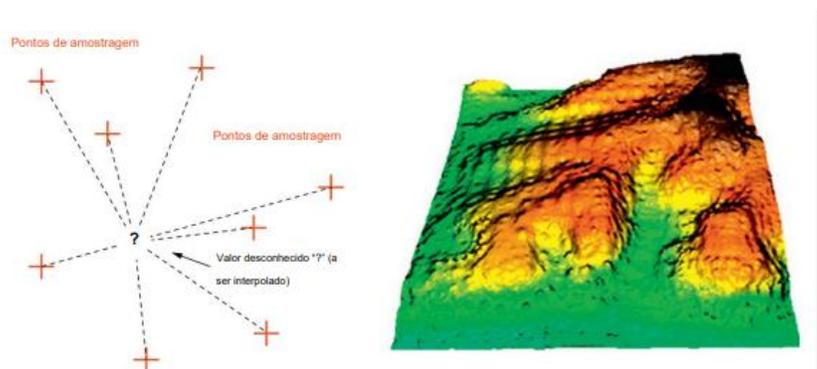
A análise espacial de uma determinada área, por meio de um Sistema de Informações geográficas (GIS), pode construir dados, com técnicas estatísticas, mais informativos do que dados coletados em pontos isolados na mesma área (BURROUGH, 2001).

A interpolação estima valores desconhecidos que estão entre valores conhecidos. Esse princípio é baseado na primeira Lei da Geografia, de Waldo Tobler, que determina que tudo esteja relacionado com o resto, mas coisas próximas são mais relacionadas que coisas distantes.

Existem diferentes métodos de análise espacial e de interpolação de pontos. Vale destacar que em todos, a localização e quantidade de pontos é muito importante, de modo que, segundo Paramasivam (2019), quando alterados a localização ou a quantidade de pontos, o resultado muda.

Dentre os diferentes métodos de interpolação, vale ressaltar os 3 mais empregados na atualidade, a saber: A ponderação pelo inverso da distância (IDW); O Kriging; e a ferramenta Spline. Nesse sentido, o método considerado mais simples é o da ponderação pelo inverso da distância (IDW). A área ao redor de um ponto interpolado é identificada e uma média ponderada, de modo decrescente do ponto até a periferia desta área, é feita dentro da vizinhança do ponto em questão. Cada ponto tem um ápice de influência, fiel ao valor coletado, no centro e vai diminuindo a influência conforme a distância do ponto aumenta (SETIANTO e TRIANDINI, 2013). Para se estimar o valor de um ponto não amostrado no mapa, toma-se como base a média dos valores de influência dos pontos que estão mais próximos deste novo ponto como pode-se notar na Figura 01.

Figura 01 – Interpolação de ponderação de distância inversa de média móvel



Fonte: Adaptado de Paramasivam (2019).

Outro método de interpolação bastante empregado em estudos espaciais nos softwares GIS é o Kriging. Este método, é um processo de várias etapas que considera tanto a distância quanto o grau de variação entre pontos de dados conhecidos para estimar valores desconhecidos dentro da área. Neste tipo de interpolação, se obtém resultados mais consistentes quando a distância espacial correlacionada, ou viés direcional dos dados estiver presente.

Já o terceiro método de interpolação, o Spline, utiliza uma função matemática que minimiza a curvatura geral da superfície para calcular os valores desconhecidos. Os pontos estimados formam uma superfície lisa que passa exatamente pelos pontos de entrada fornecidos. Esse método é mais adaptado para superfícies planas, que variam suavemente, como elevação, poluição e altura do lençol freático (PARAMASIVAM, 2019).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização da Área de Estudo

Os dados utilizados no presente estudo foram coletados nas áreas de produção da Usina Casur, coordenadas 11E 29' 20", 85S 50' 14", fuso 16N, localizado no estado de Rivas, República da Nicarágua, conforme demonstrado na Figura 02.

Figura 02 – Áreas de produção da Usina Casur.



Fonte: Autor.

David Morice Rocha fundou a usina em 1940 com o nome de Ingenio Dolores, e foi em 1993, depois da tão sonhada privatização que a mesma passou a se chamar Casur S.A. Em 2014, novos sócios investidores colombianos abraçaram o desafio de produzir cana-de-açúcar no vertissolo nicaraguense e iniciou o processo de modernização da usina. (História Casur S.A.,2021)

Para otimizar a gestão e organização, a área de 6800 ha (seis mil e oitocentos mil hectares) da usina foi dividida em 12 setores. São áreas planas, com baixa declividade devido à sistematização do terreno. Neste trabalho, foram analisados a variação do lençol freático durante dois anos em 4 destes setores. Sendo ela El Salitre com 480ha apresentada na Figura 03 e Los

Arcos com 170ha na Figura 04. A Figura 05 é El Sitio com 264,67ha e Ñocarime com 182,13ha Figura 06.

Figura 03 – Área de El Salitre.



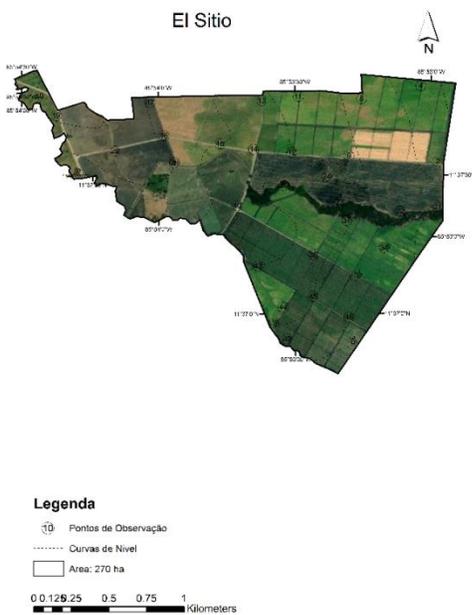
Fonte: Autor.

Figura 04 – Área de Los Arcos.



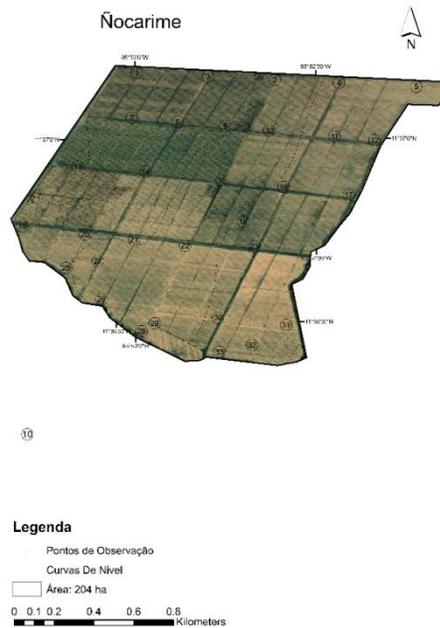
Fonte: Autor.

Figura 05 – Área de El Sitio.



Fonte: Autor.

Figura 06 – Área de Ñocarime.



Fonte: Autor.

### 3.2. Pontos de Monitoramento

O banco de dados foi obtido diretamente da usina CASUR e foi elaborado a partir de registros efetuados por colaboradores da usina. Essas leituras foram realizadas nos poços de observação, constituídos por tubos de PVC de  $\frac{1}{2}$  polegada de diâmetro e 2 metros de profundidade com régua métrica, instalados em 185 locais, alternados aleatoriamente dentro de cada gleba, a fim de analisar o comportamento do lençol freático entre os anos de 2020 e 2021.

Figura 07 – Bateria Piezométrica e Poço de Observação.



Fonte: Adaptado de Mosquera (2019) (Relatório interno Usina CASUR).

No momento em que os pontos de observação foram instalados, o lençol freático se encontrava entre 1,9 e 2,0 metros de profundidade, exceto alguns locais que estavam sob irrigação e nas áreas perto do lago Ñocarime.

Vale lembrar, que estes pontos foram instalados em 2018 e que após 3 anos de coletas, alguns pontos de observação foram corrompidos, por causas adversas. Sendo assim, após a filtragem de dados precisos, foi possível montar as tabelas que foram anexadas com os respectivos dados no Excel com base na profundidade do lençol freático em centímetros.

### **3.3. Elaboração e Interpolação dos Mapas**

Neste trabalho, utilizou-se o método Spline que assume que quanto mais próximo o ponto de amostra estiver da célula cujo valor será estimado, mais próximo o valor da célula se assemelha ao valor do ponto de amostra. Formando assim, uma superfície flexível suave e esticada sobre os pontos amostrados.

Nesse sentido, os mapas com curvas de igual profundidade foram elaborados no software Arc Gis, através da ferramenta Spline. Essas imagens deixam evidentes os níveis do lençol freático dentro da área no dia da coleta dos dados e permite assim a análise da variação desses níveis no decorrer do tempo quando comparados os mapas.

As linhas contínuas nas Figuras pertencem a isóbatas das diferentes leituras registradas da profundidade do lençol freático e são separadas por cores. A cor vermelha indica que o lençol freático está entre a superfície e 0,5 metros de profundidade, enquanto a cor laranja representa as áreas onde o lençol está entre 0,5 metros e 1 metro de profundidade. A cor amarela indica que o lençol está entre 1 metro e 1,5 metros de profundidade; a cor verde clara demonstra que o lençol freático está entre 1,5 e 2 metros de profundidade e a cor verde escuro indica que o lençol freático está a mais de 2 metros de profundidade no solo.

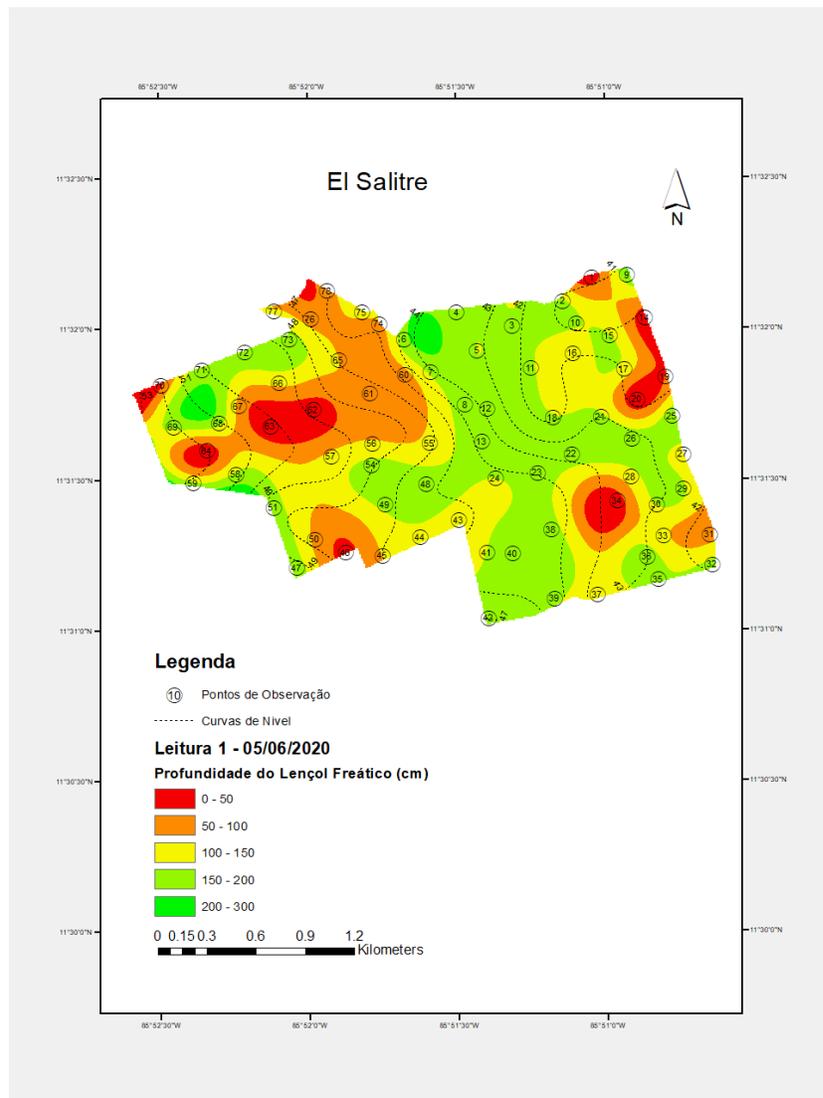
#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

##### **4.1. Comportamento do Lençol Freático na Área El Salitre em 2020**

Em 2020, foram coletados 5 conjuntos de dados sobre a profundidade do lençol freático na área de El Salitre. Esses dados foram coletados, periodicamente, entre os meses de junho e setembro de 2020. As coletas foram realizadas de modo sequencial, entre 20 e 30 dias.

Desse modo, o primeiro conjunto de leituras, realizado na área no ano de 2020 em El Salitre, foi no dia 05/06/2020. Naquele momento, a maior área em que o lençol se encontrava na superfície do terreno era na região oeste de El Salitre, além da região nordeste e uma pequena área circular próxima ao ponto de coleta número 34 as quais demandavam drenagem, como pode ser visto na figura a seguir:

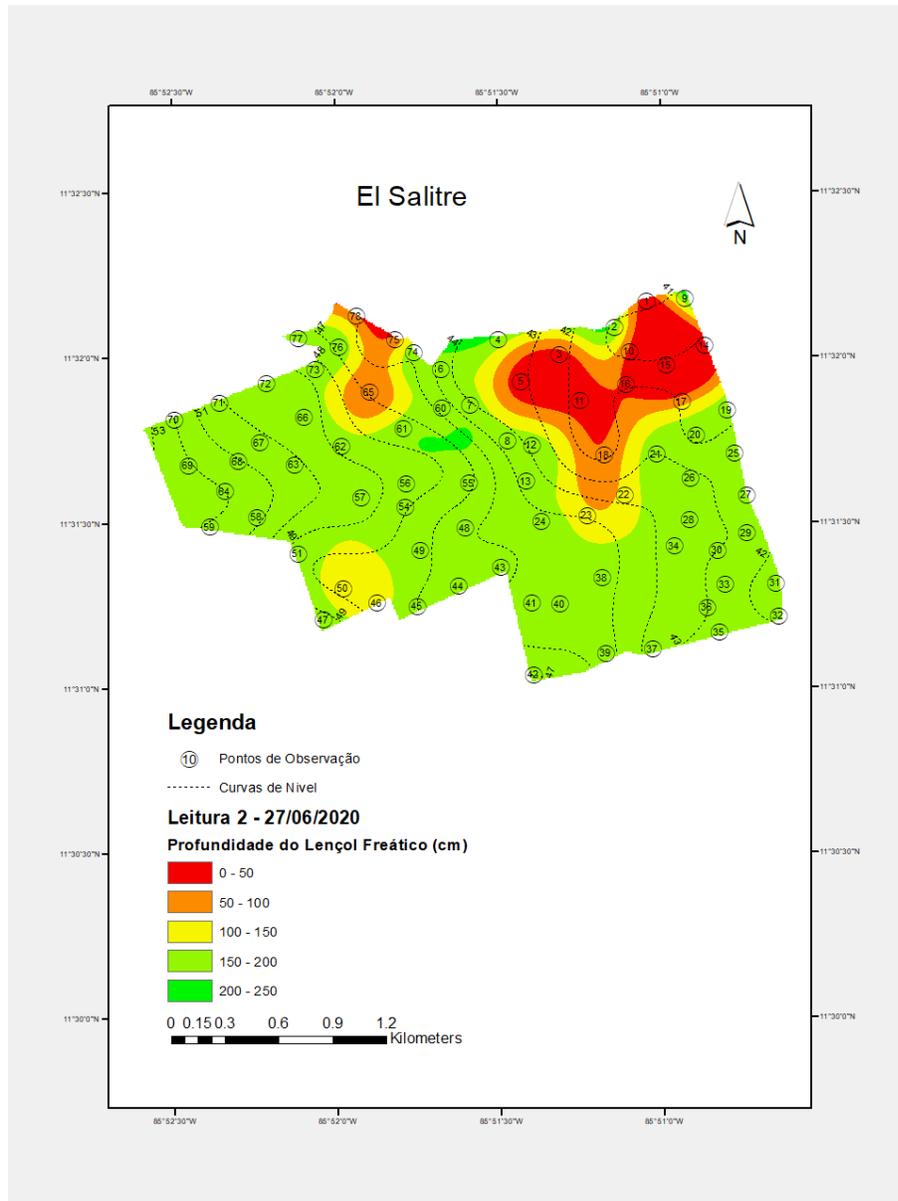
Figura 08 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 05/06/2020



Fonte: Autor.

O segundo conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em El Salitre foi realizado no dia 27/06/2020, no qual o resultado da interpolação mostra que a região nordeste, entre 41 e 44 metros de altitude, e a próxima ao ponto de coleta número 65 foi a que mais carecia de drenagem, enquanto no restante o lençol se encontra entre 1,5 e 2 metros de profundidade, como pode ser observado.

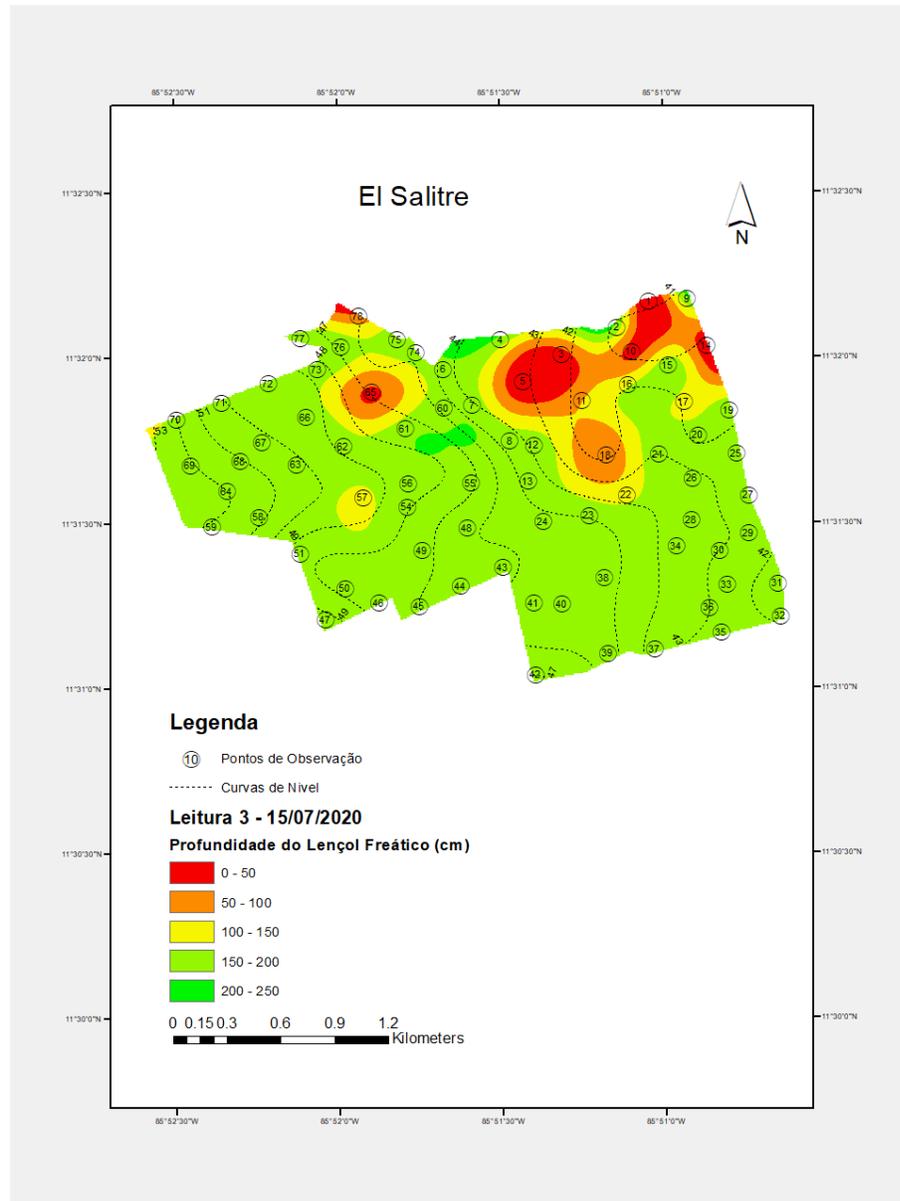
Figura 09 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 27/06/2020



Fonte: Autor.

O Terceiro conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em El Salitre foi realizado no dia 15/07/2020. Nota-se que, passados 20 dias do segundo conjunto de dados coletados, as regiões onde o lençol freático se encontrava próximo à superfície do terreno são as mesmas daquelas do mês anterior, região nordeste e aos arredores do ponto de coleta número 65.

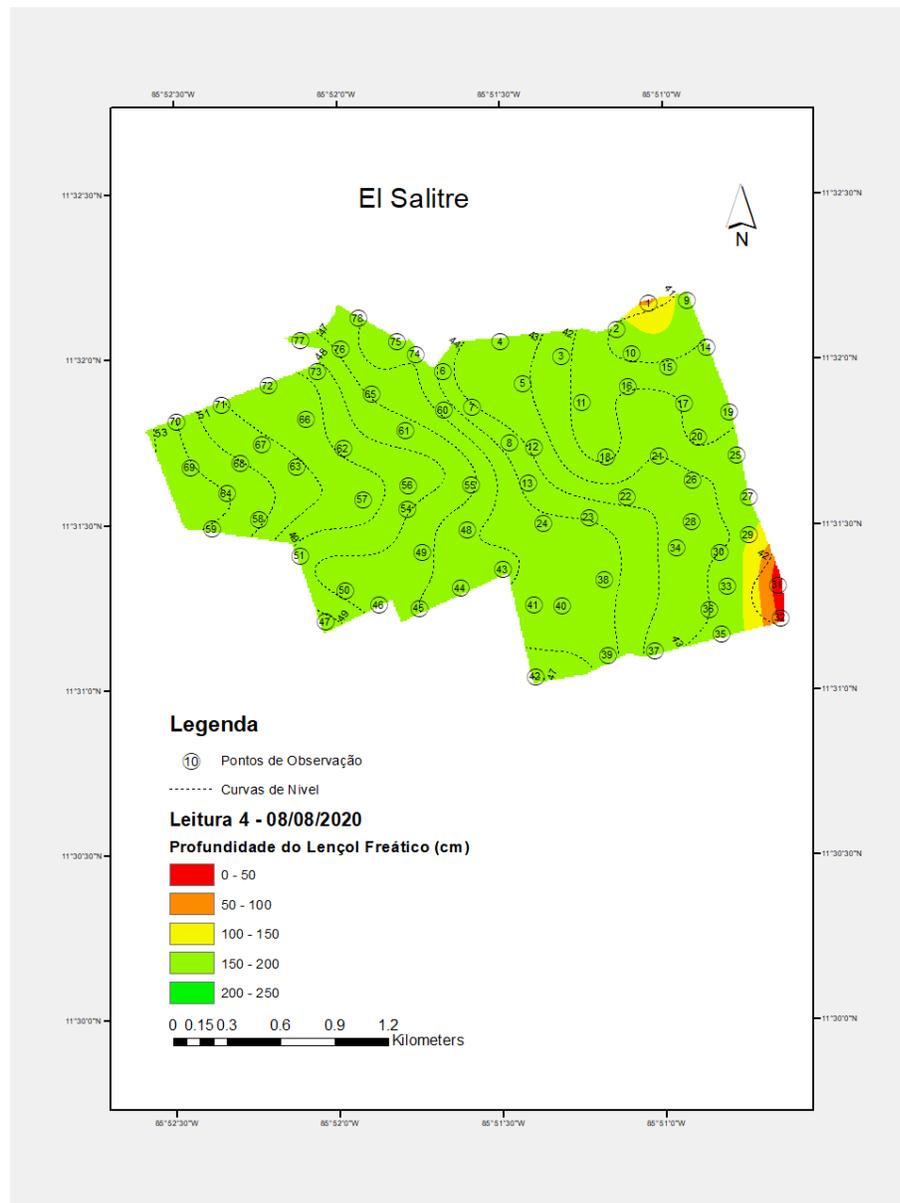
Figura 10 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 15/07/2020.



Fonte: Autor.

O quarto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em El Salitre foi realizado no dia 08/08/2020, 32 dias após o terceiro conjunto de dados coletados. Nessa ocasião, em agosto de 2020, somente uma ínfima área a sudeste, ao redor dos pontos 31 e 32 apresentavam encharcamento excessivo, com lençol freático entre a superfície e 0,5 metros de profundidade. No restante da área, o lençol freático se encontrava entre 1,5 e 2 metros de profundidade. Como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 08/08/2020.

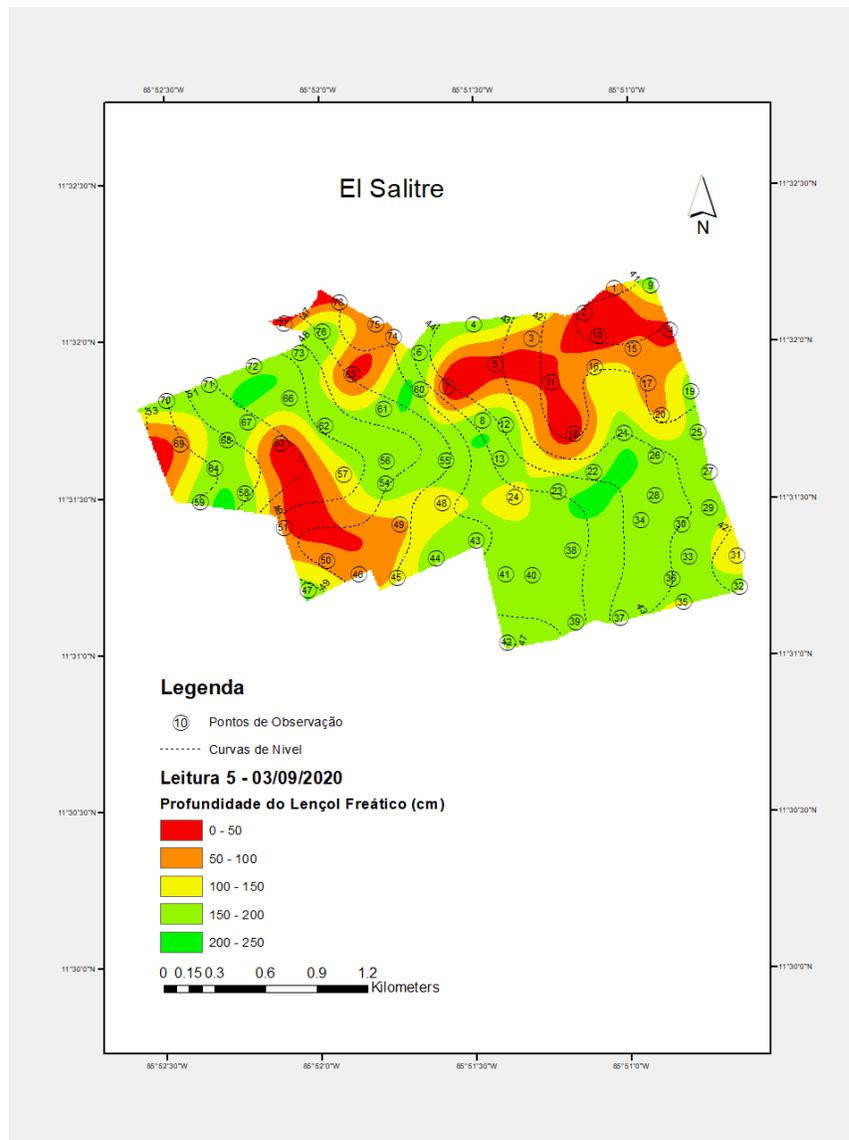


Fonte: Autor.

O quinto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em El Salitre foi realizado no dia 03/09/2020. Nessa ocasião, além da região nordeste, houve encharcamento na área compreendida entre os pontos 58, 67, 66, 62, 54, 48 e 44, região sudoeste de El Salitre. Como pode ser ilustrado na figura

Figura 12, a seguir:

Figura 12 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 03/09/2020.



Fonte: Autor.

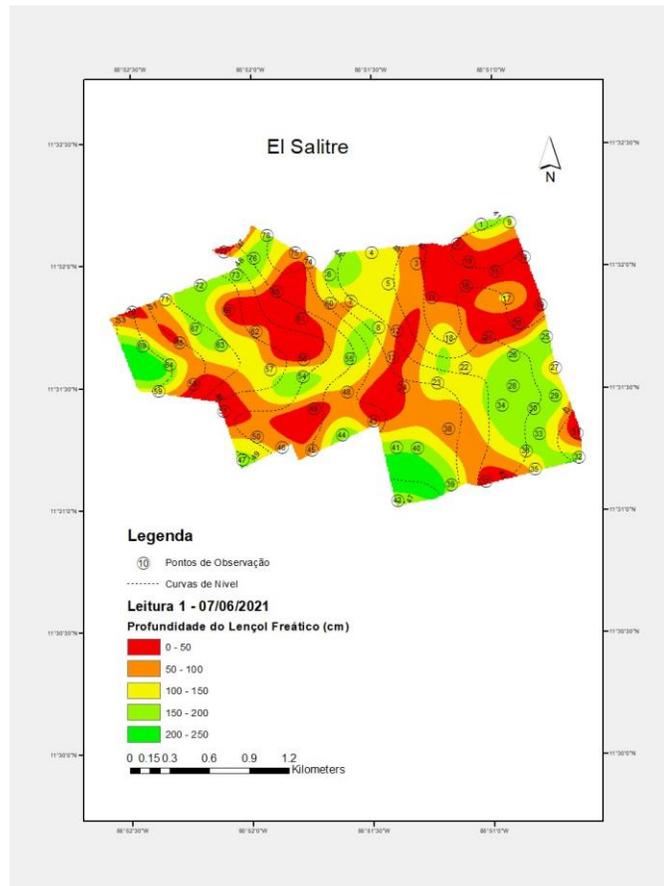
Por meio da análise temporal dos mapas interpolados da área El Salitre em 2020, foi possível notar um certo comportamento da profundidade do lençol freático desta gleba. É possível perceber que a região nordeste foi aquela que mais se manteve encharcada durante o tempo de estudo. Alguns fatores podem estar relacionados a este comportamento e um deles é o fato de que esta região fica entre 44 e 41 metros de altitude, sendo a posição mais baixa do terreno. Além disso, a porosidade bem como a compactação, composição textural do solo e o próprio lençol freático podem ter contribuído com esse resultado.

#### 4.2. Comportamento do Lençol Freático na Área El Salitre em 2021

Em 2021, foram coletados 5 conjuntos de dados sobre a profundidade do lençol freático na área de El Salitre. Esses dados foram coletados periodicamente, entre os meses de junho a outubro de 2021. As coletas foram realizadas de modo sequencial, entre 30 e 40 dias.

O primeiro conjunto de leituras realizado na área de El Salitre foi realizado no dia 07/06/2021. Nessa data, grande parte da área estava encharcada, o lençol freático se encontrava entre 0 e 0,5 metros de profundidade em diversos pontos da gleba, com ênfase na região nordeste, ao redor dos pontos 65, 61 e 56, região centro oeste, ao redor do ponto 49 e entre os pontos 12,13, 24 e 43.(Figura 13)

Figura 13 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 07/06/2021.

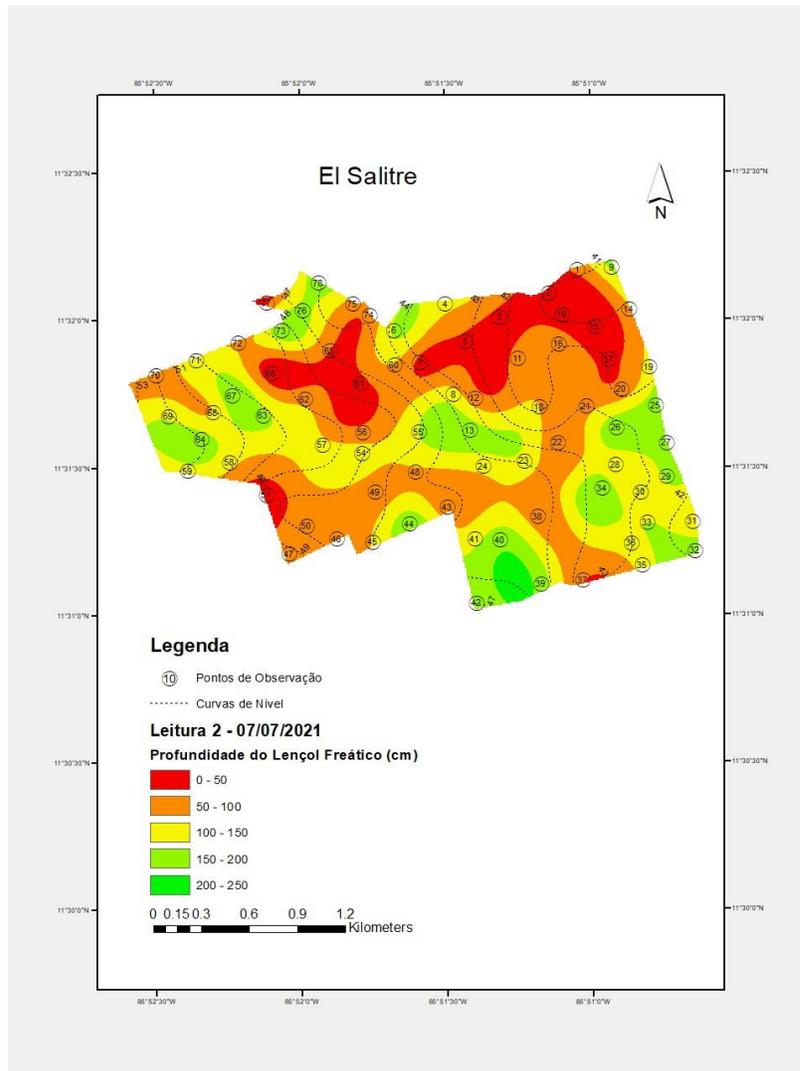


Fonte: Autor.

O segundo conjunto de leituras realizado na área de El Salitre foi realizado no dia 07/07/2021. Nota-se aqui uma semelhança do comportamento do lençol freático do dia

03/09/2020. A região Nordeste e aquela situada em torno dos pontos 66, 65 e 61 apresentaram encharcamento entre 0 e 0,5 metros de profundidade. Além disso, a área estava mais encharcada como um todo, grande parte do lençol freático se encontrava entre 0 e 1 metro de profundidade e outra entre 1 e 1,5 metros de profundidade. Apenas uma minoria da área estava enxuta até 2 metros de profundidade. Como pode visto na Figura 14, a saber:

Figura 14 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 07/07/2021.

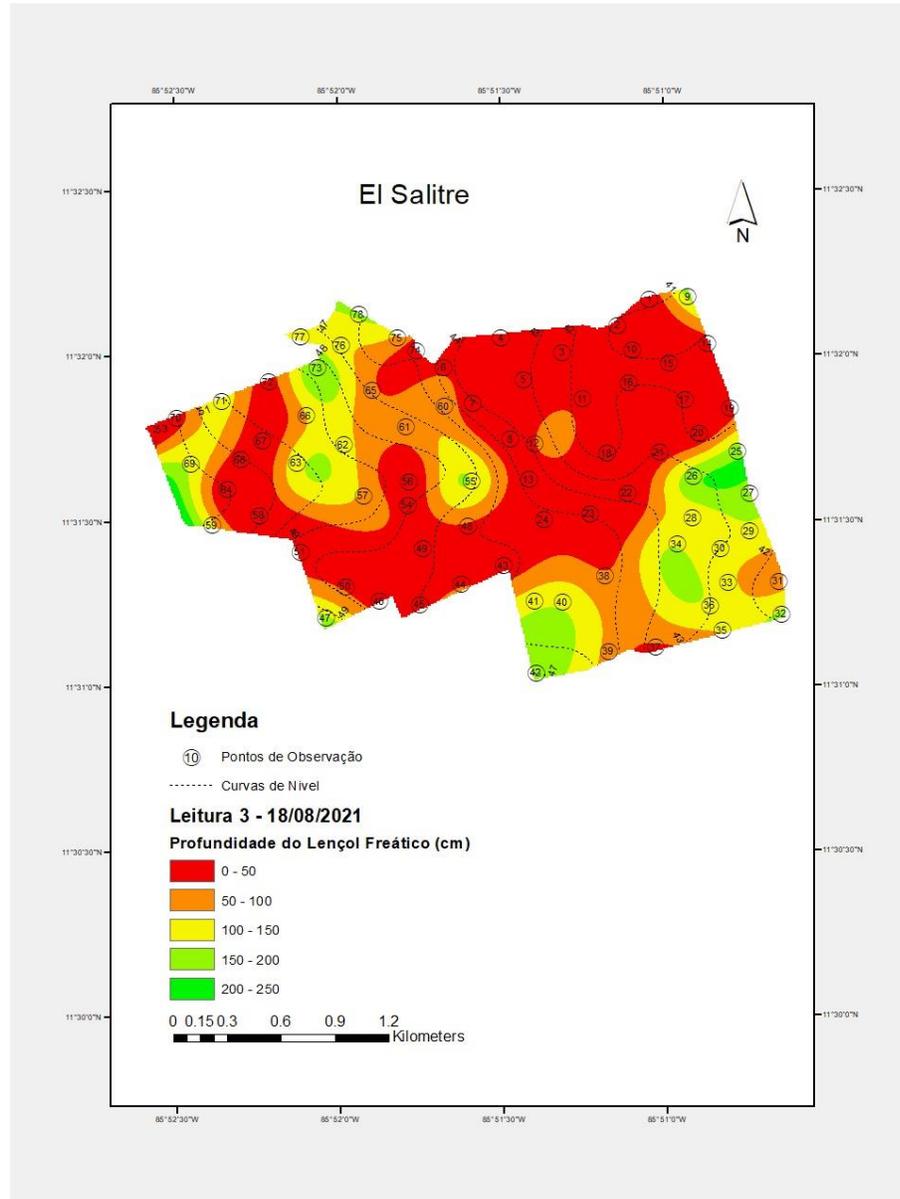


Fonte: Autor.

O terceiro conjunto de leituras, realizado na área de El Salitre, foi realizado no dia 18/08/2021. Nesta ocasião, praticamente toda a área estava encharcada, salvo ao redor dos postos

25,26 e 27, na área mais a sudoeste, próxima ao ponto 42, e em alguns lugares isolados com no ponto 73, por exemplo. Como pode visto na Figura 15, a seguir:

Figura 15 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 18/08/2021.



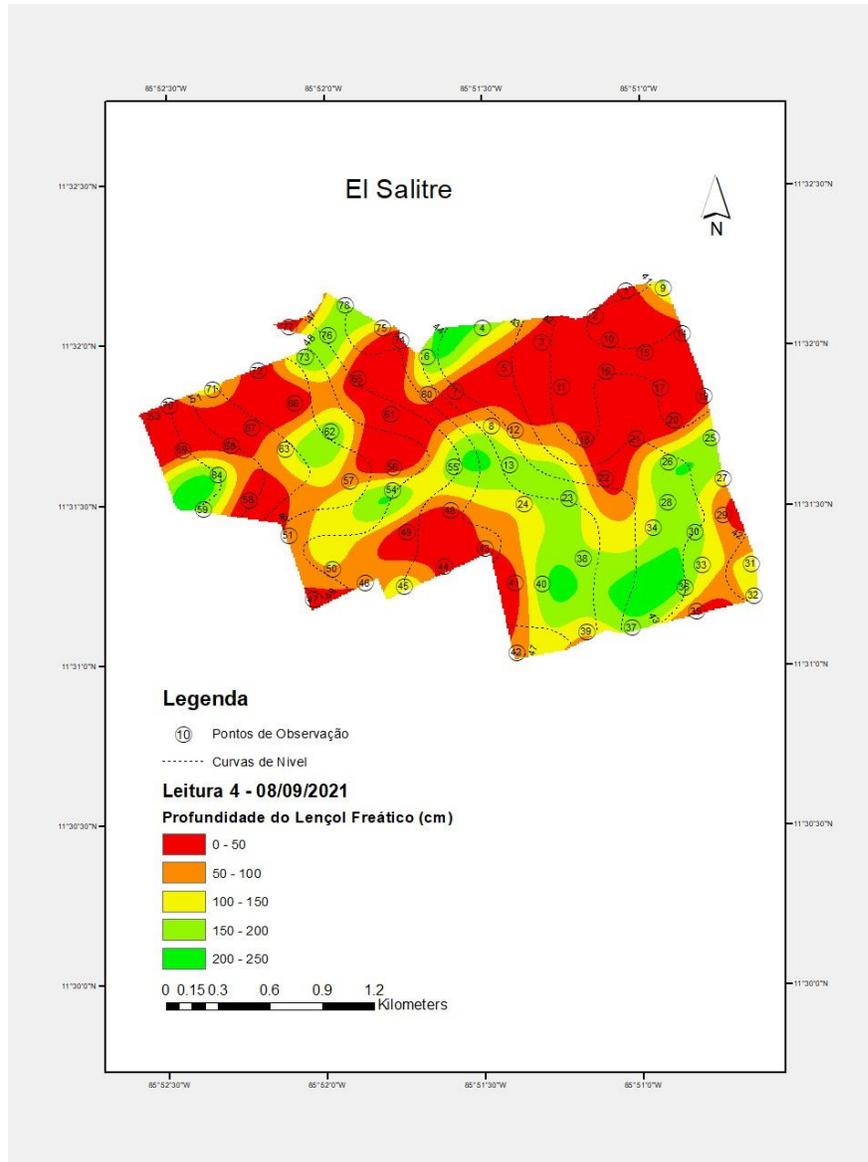
Fonte: Autor.

O quarto conjunto de leituras realizado na área de El Salitre foi realizado no dia 08/09/2021. Nesta data, praticamente em toda região norte de El Salitre, de leste a oeste, estava com lençol freático acima dos 0,5 metros de profundidade, além da área em torno dos pontos 49,

48, 44, 43 e 41 que também se une a nessa grande demanda de drenagem do solo. Como pode ser visto na

Figura 16, a seguir:

Figura 16 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 08/09/2021

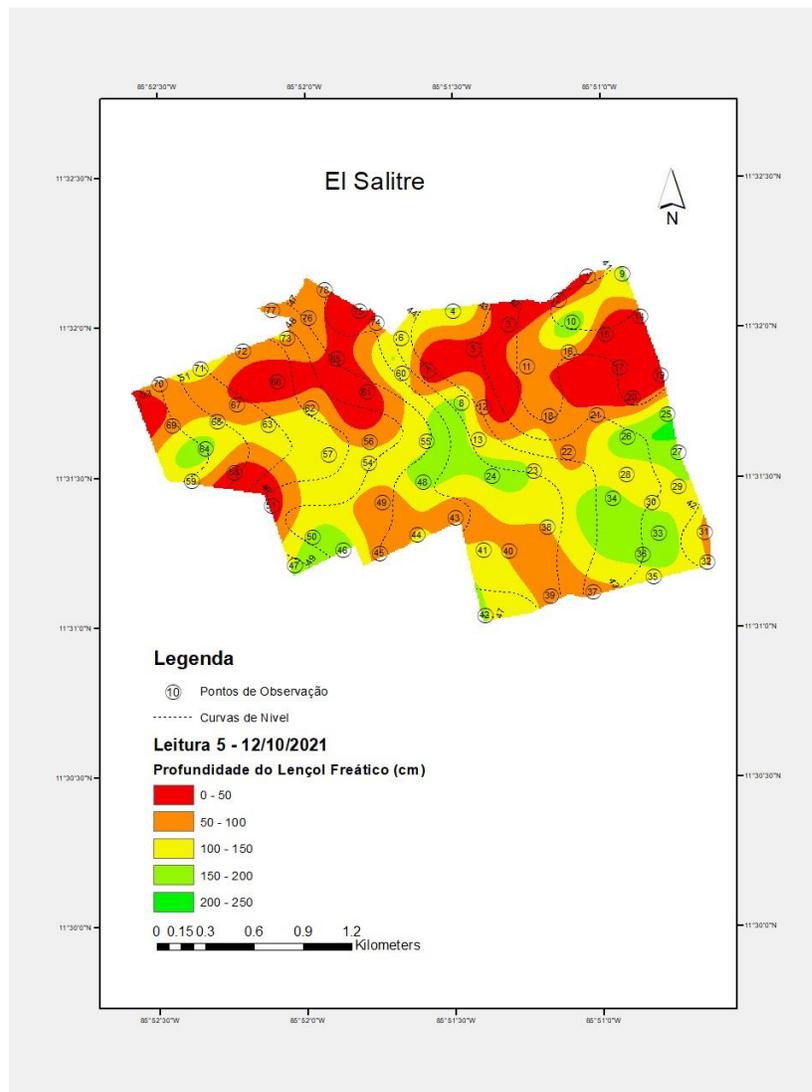


Fonte: Autor.

O quinto conjunto de leituras realizado na área de El Salitre foi realizado no dia 12/10/2021. Novamente a região mais ao norte se mostra como aquela que mais demanda drenagem. Passados 34 dias após a leitura 4, apenas a região mais ao sul, estava com lençol em

sua grande maioria entre 1 e 1,5 metros de profundidade, com algumas áreas entre 0,5 e 1 metro de profundidade. Esse mapa mostra que durante esse intervalo de tempo houve certa região mais ao sul de El Salitre que obteve um maior rebaixamento do lençol freático, se mostrando mais drenável que a parte mais ao norte. Como pode visto na Figura 17, a seguir:

Figura 17 – Nível do lençol freático em El Salitre no dia 12/10/2021



Fonte: Autor

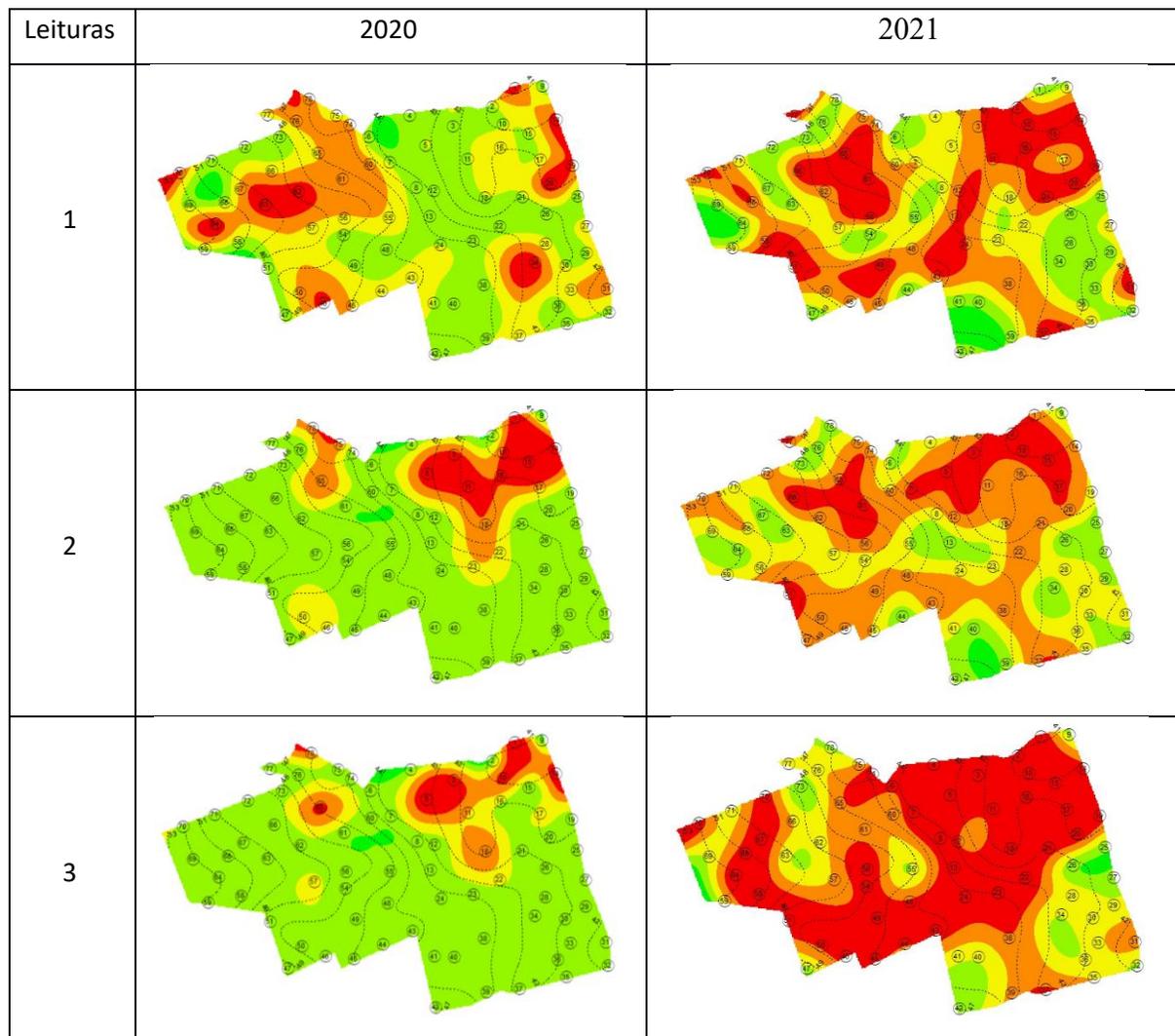
Em 2021, durante o período analisado, houve problemas de drenagem em todas as ocasiões e em grande parte da Gleba de El Salitre. A região nordeste esteve com lençol freático acima de

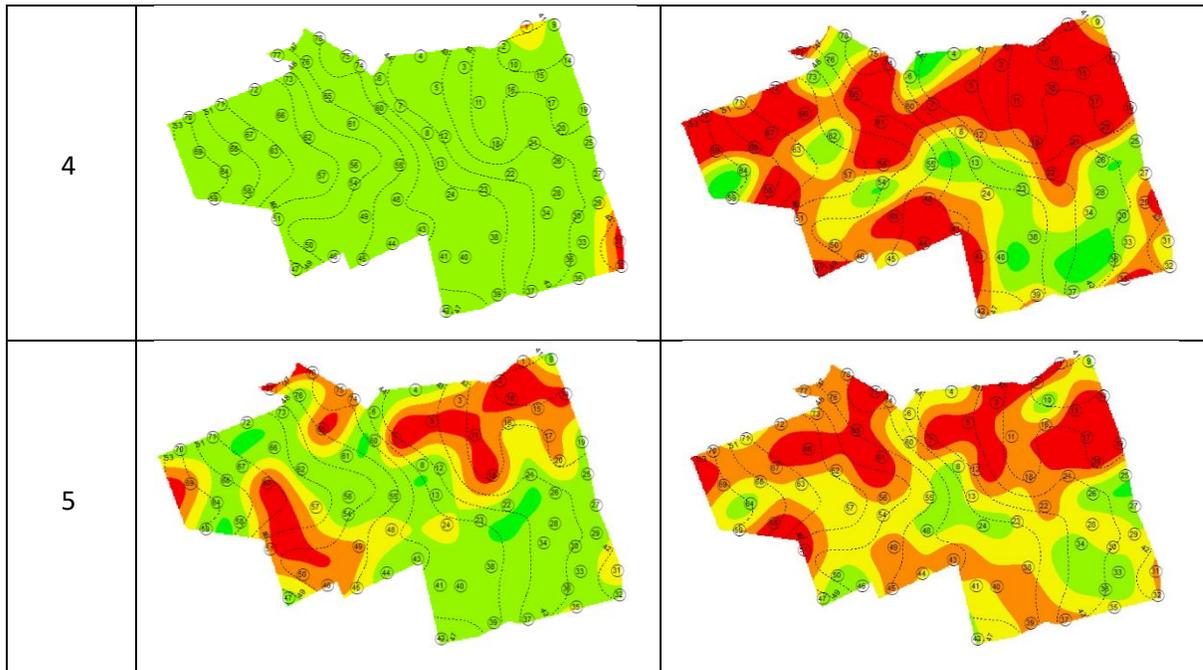
0,5 metros de profundidade em todos os dias estudados. Sendo que no mês de agosto, praticamente toda área estava com excesso de umidade.

#### 4.3. Comportamento do lençol freático na área El Salitre em 2020 e 2021

Por meio da análise temporal dos mapas interpolados da área de El Salitre, que evidencia o comportamento do lençol freático entre os meses de junho a setembro de 2020 e junho a outubro de 2021, possível notar que a região de El Salitre localizada entre 11°31'30" N e 11°32'30" N é a que mais demanda drenagem ao longo do tempo.

Figura 18 – Comportamento temporal do nível do lençol freático em El Salitre nos anos de 2020 e 2021





Fonte: Autor.

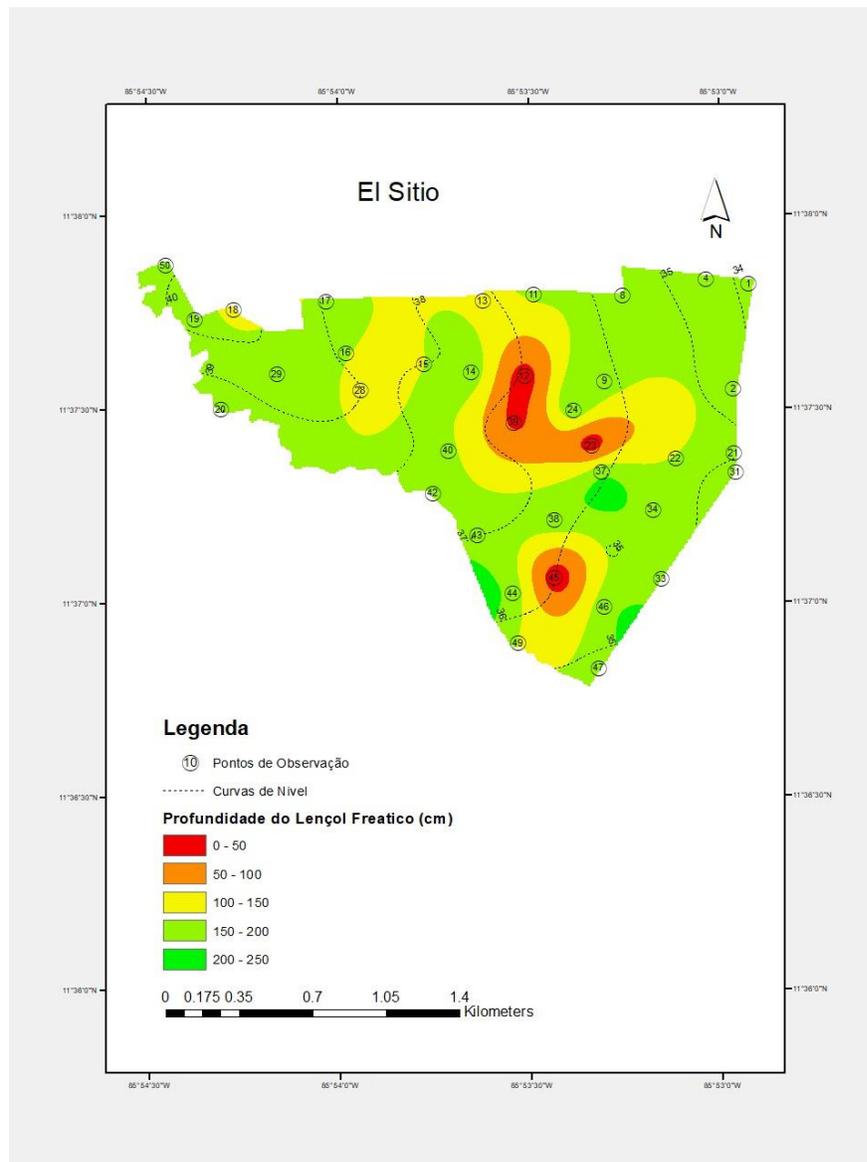
Porém, apesar de que no dia 08/08/2020 (leitura 4), o lençol freático se encontrava abaixo de 1,5 metros de profundidade em quase toda a área, no restante, em 90% das ocasiões analisadas, esta é uma área que demanda drenagem para um bom desenvolvimento de culturas com a cana - de açúcar.

#### 4.4. Comportamento do Lençol Freático na Área El Sitio em 2020

Em 2020, foram coletados 5 conjuntos de dados sobre a profundidade do lençol freático na área de El Sitio. Esses dados foram coletados periodicamente, entre os meses de junho e setembro de 2020. As coletas foram realizadas de modo sequencial, entre 20 e 30 dias.

O primeiro conjunto de leituras realizado na área de El Sitio foi realizado no dia 03/06/2020. Nessa data, grande parte do lençol freático se encontra entre 1,5 e 2 metros de profundidade. Vale destacar que na região central da gleba o lençol freático estava próximo à superfície, com um gradiente crescente de profundidade que começa ao redor dos pontos 12, 39, e 23 até que se padroniza abaixo de 1,5 metros de profundidade. Salvo ao redor do ponto 45 em que o lençol estava entre 0 e 0,5 metros de profundidade, se aprofundando gradualmente a partir daquele ponto. Como pode ser visto na figura abaixo:

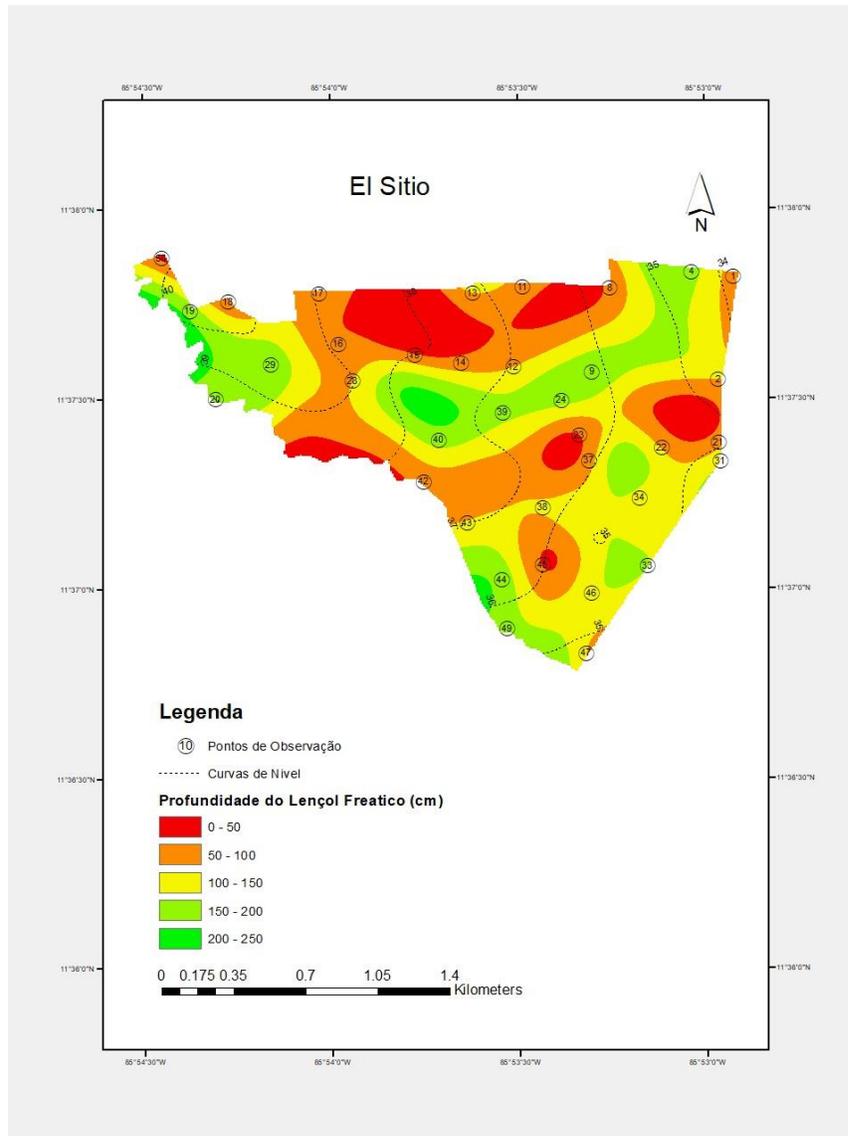
Figura 19 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 03/06/2020.



Fonte: Autor.

O segundo conjunto de leituras realizado na área de El Sitio foi realizado no dia 24/06/2020. Passados 20 dias após o primeiro conjunto de leituras obtidas, naquela área mais encharcada do começo de junho, apenas o ponto 23 permaneceu com o lençol freático próximo à superfície. Por outro lado, no geral, esse segundo conjunto de dados amostrados revelou maiores áreas com problemas de drenagem, destacando a região norte central, ao redor do ponto 45 e entre os pontos 2, 22 e 21. Como pode ser visto na Figura 20, a seguir:

Figura 20 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 24/06/2020.

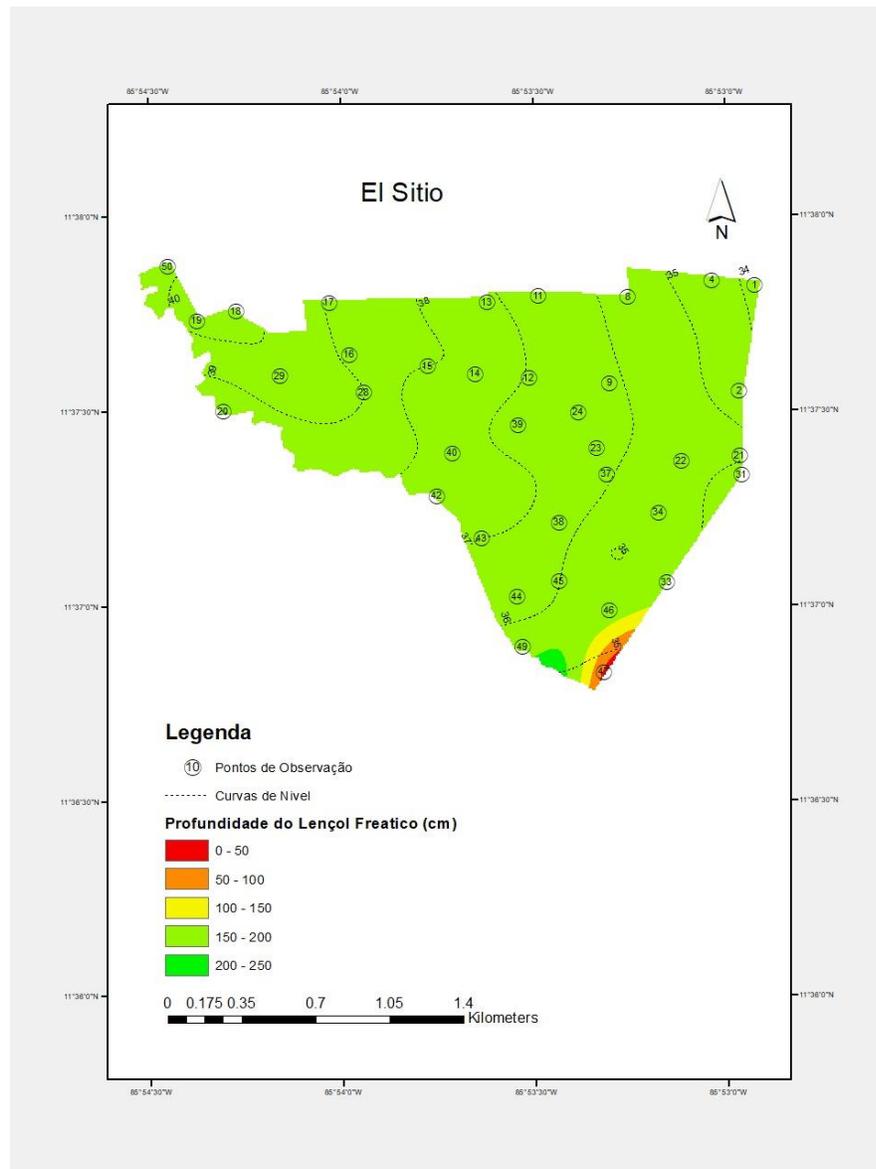


Fonte: Autor.

O terceiro conjunto de leituras realizado na área de El Sitio foi realizado no dia 14/07/2020. Nessa data, a maior parte do lençol freático estava abaixo de 1,5 metros de profundidade. Apenas ao redor do ponto 47, mais ao sul, uma ínfima área estava com lençol entre 0 e 1 metro de profundidade. Como pode ser visto na .

Figura 21.

Figura 21 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 14/07/2020.

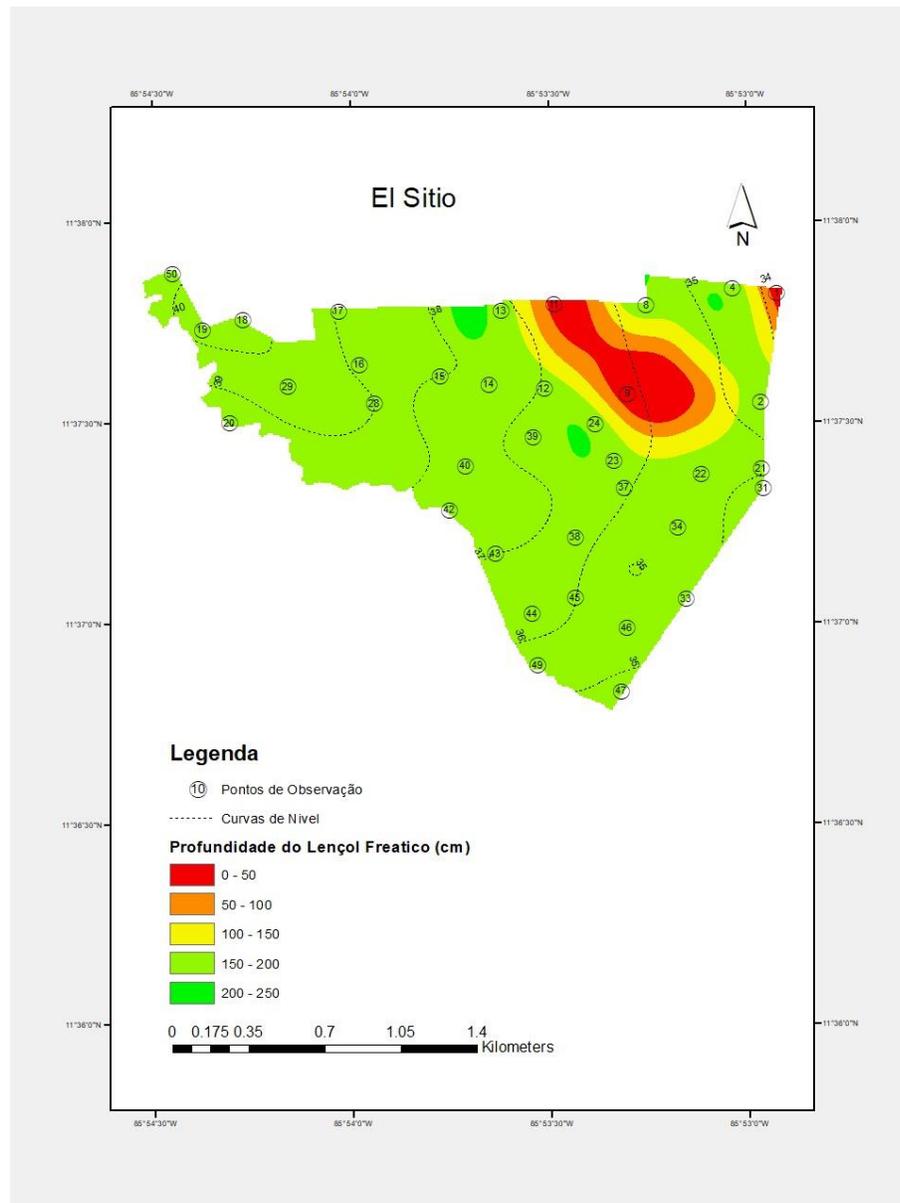


Fonte: Autor.

O quarto conjunto de leituras realizado na área de El Sitio foi realizado no dia 01/08/2020. Nessa data, apenas duas regiões mais ao norte não estavam com o lençol freático abaixo de 1,5 metro de profundidade. São elas, a área ao redor dos pontos 9 e 11 e uma pequena área ao redor do ponto 1, com respectivos gradientes de profundidade até passarem de 1,5 metros de profundidade. ().

Figura 22).

Figura 22 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 01/08/2020.

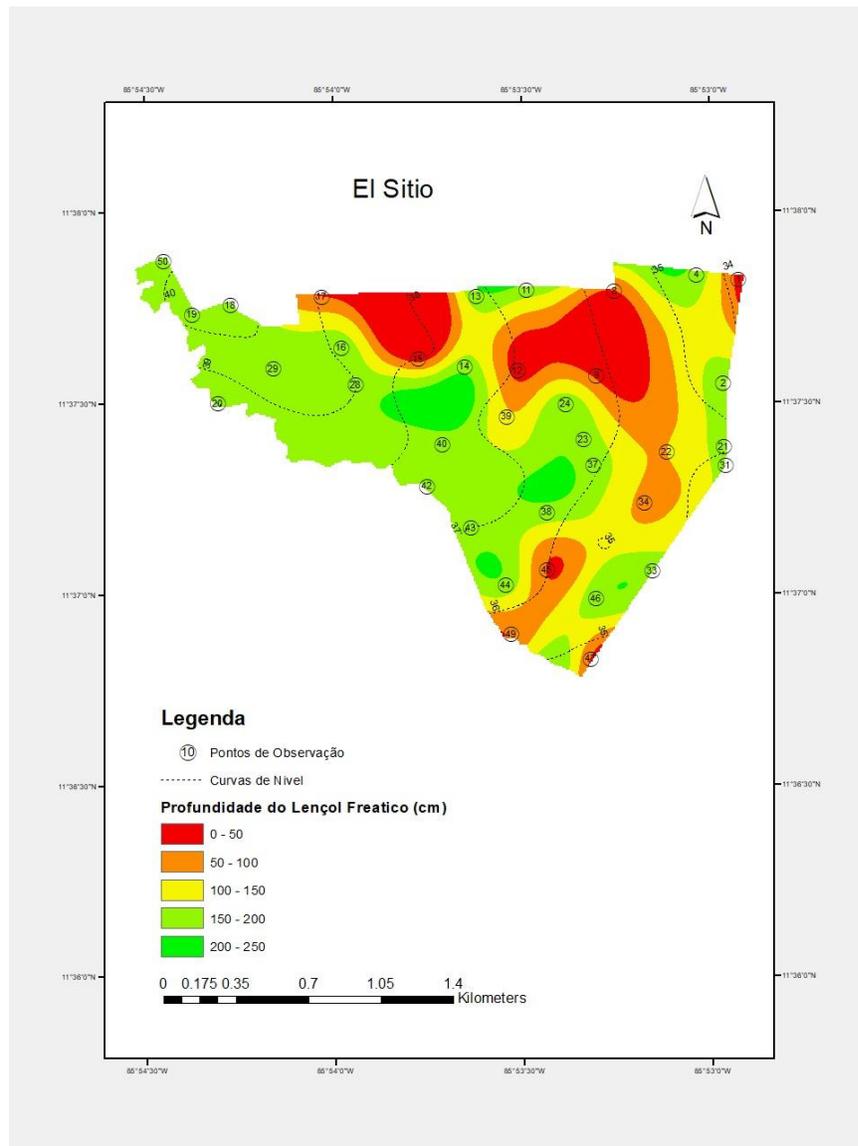


Fonte: Autor.

O quinto conjunto de leituras realizado na área de El Sitio foi realizado no dia 01/09/2020. Nessa amostra de dados, foi possível compreender que a região centro norte, nordeste estava mais encharcada. Com destaque para áreas compreendidas entre os pontos 12, 9 e 8, e entre os pontos 17, 45 e 13. Além de uma pequena parte circular em torno do ponto 45. (.)

Figura 23.)

Figura 23 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 01/09/2020.



Fonte: Autor.

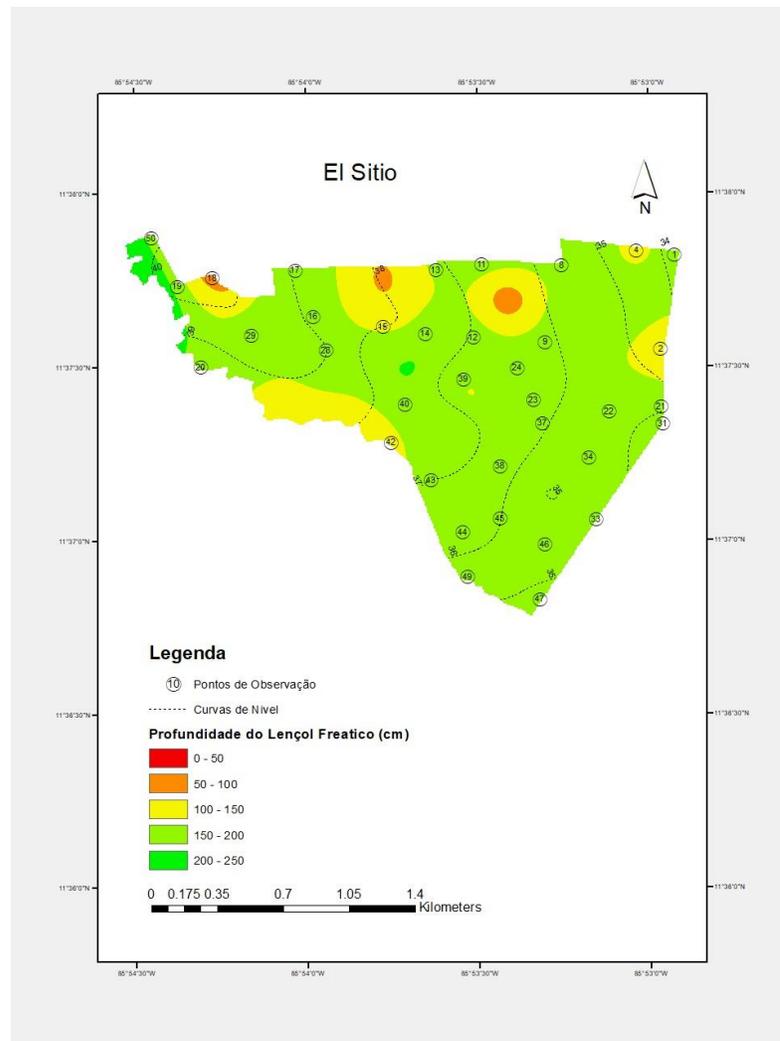
A análise temporal do ano de 2020 mostrou que há problemas de drenagem na área de El Sitio, sendo que é maior grau no final de junho e início de setembro de 2020. Por se tratar de uma área plana, a profundidade do lençol freático variou de forma desuniforme ao longo do tempo dentro da gleba.

#### 4.5. Comportamento do Lençol Freático na Área El Sitio em 2021

Em 2021, foram coletados 5 conjuntos de dados sobre a profundidade do lençol freático na área de El Sitio. Esses dados foram coletados, periodicamente, entre os meses de junho a outubro de 2021. As coletas foram realizadas de modo sequencial, entre 30 e 40 dias.

O primeiro conjunto de leituras realizado neste ano na área de El Sitio foi realizado no dia 29/06/2021. Nessa data, a maior parte do lençol freático estava abaixo de 1,5 metros de profundidade, salvo, pequenas áreas, no centro norte em que o lençol se situava entre 0,5 e 1 metro de profundidade. Como pode ser visto na imagem Figura 24, a seguir:

Figura 24 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 29/06/2021.

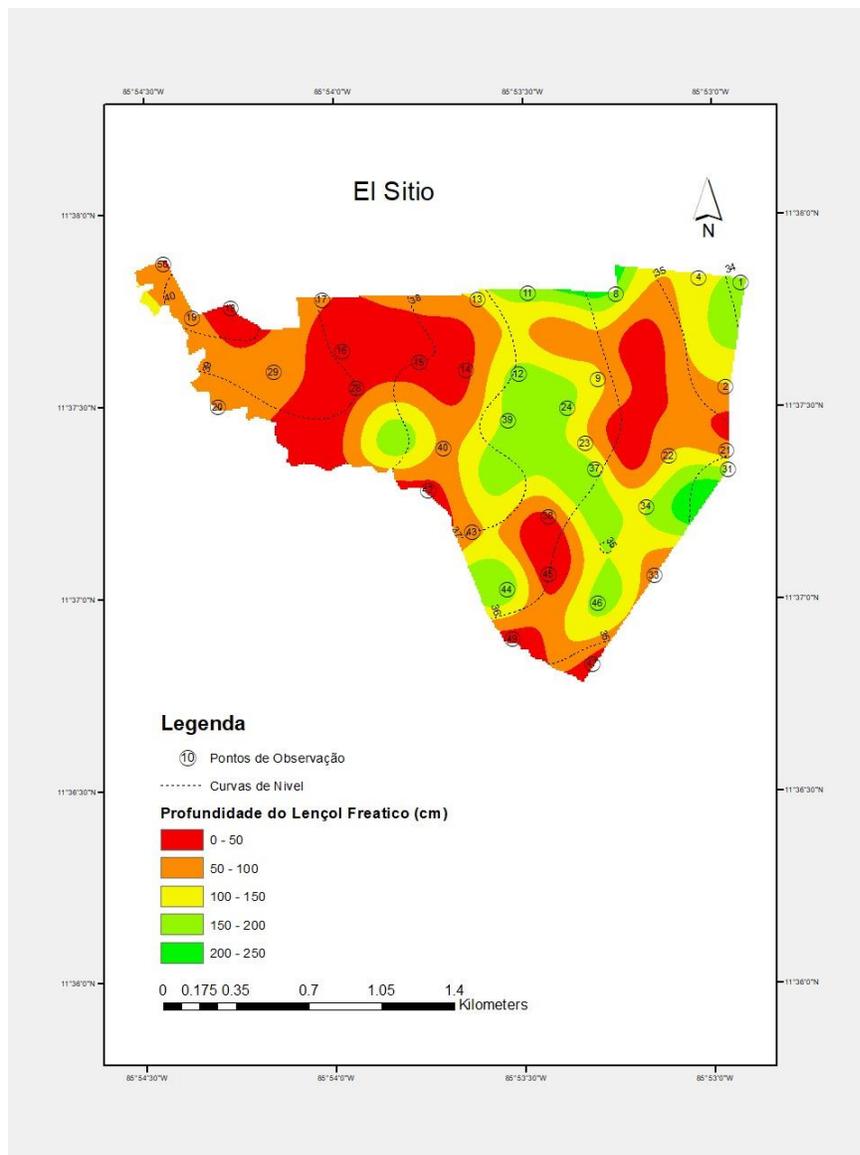


Fonte: Autor.

O segundo conjunto de leituras realizado neste ano na área de El Sitio foi realizado no dia 27/07/2021. Nessa ocasião, grande parte da área estava encharcada, com ênfase na região leste, com lençol freático acima de 0,5 metros de profundidade. Somente uma pequena área, mais ao centro da gleba El sitio, estava com lençol freático abaixo de 1,5 metros de profundidade. Como pode ser visto na figura

Figura 25.

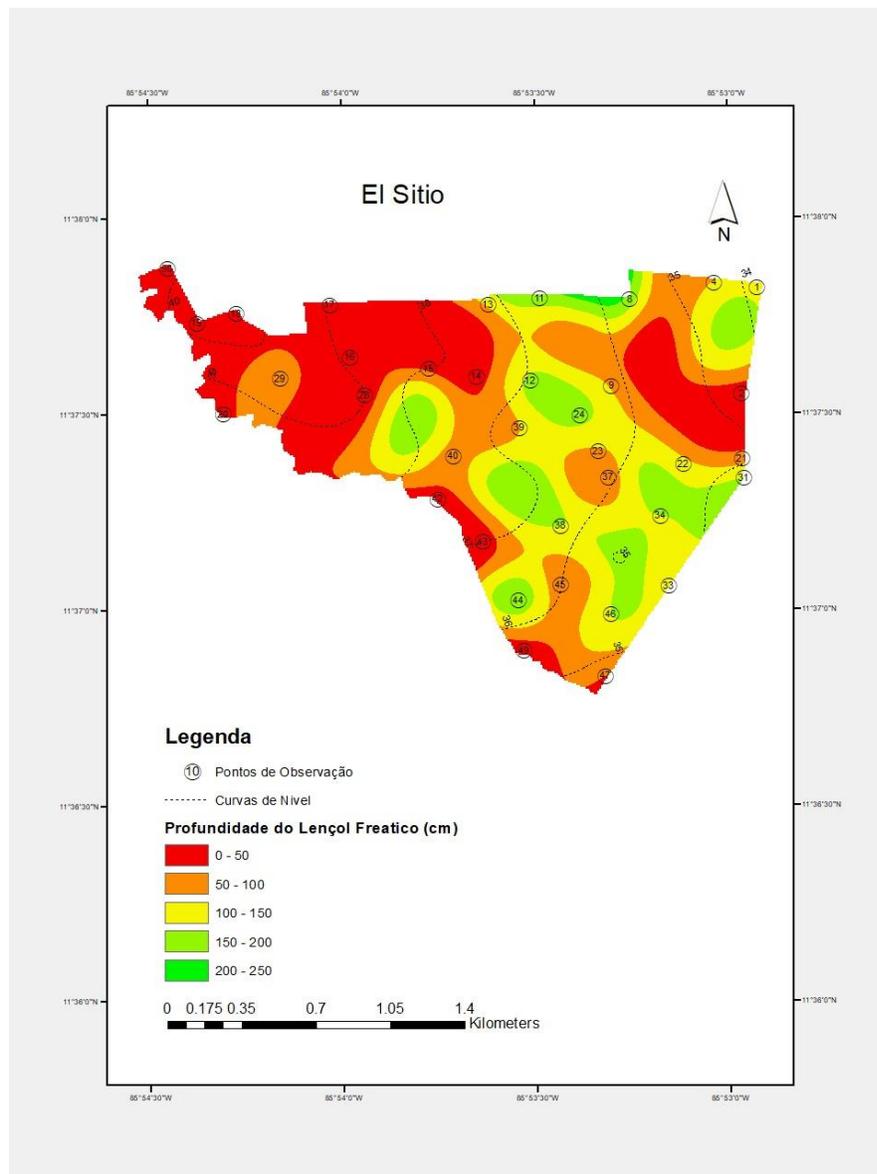
Figura 25 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 27/07/2021.



Fonte: Autor.

O terceiro conjunto de leituras realizado neste ano na área de El Sitio foi realizado no dia 17/08/2021. Naquele mês de agosto, boa parte da região leste estava com lençol freático acima de 0,5 metros de profundidade e em algumas pequenas áreas isoladas, de formato circular estavam com lençol freático abaixo de 1,5 metros de profundidade. Como pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 17/08/2021.

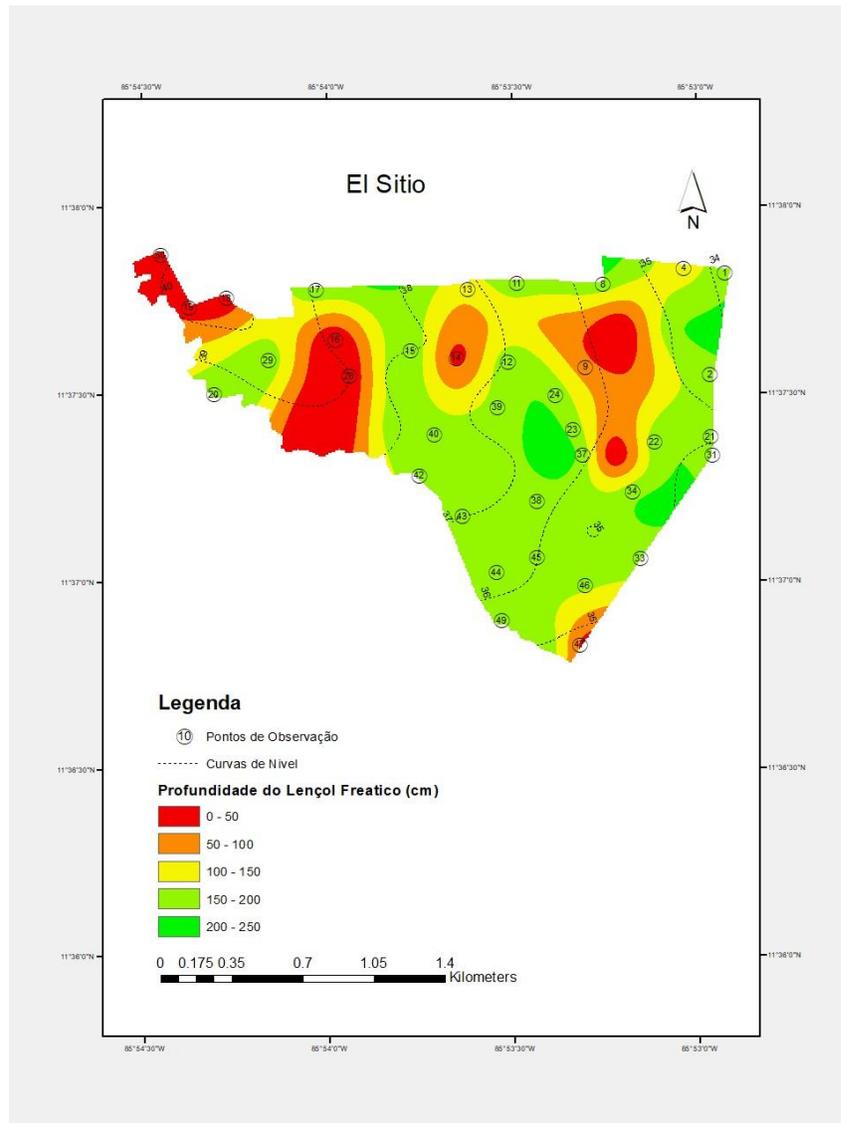


Fonte: Autor.

O quarto conjunto de leituras realizado neste ano na área de El Sitio foi realizado no dia 06/09/2021. Nessa data, a região leste continuava com problemas de drenagem, porém em pontos

mais isolados, com destaque para a região ao redor dos pontos 16 e 28, além do isolado ponto 14 e seu gradiente de profundidade que une a uma pequena área mais a nordeste de El Sitio, próxima ao ponto 9 que se estende até próximo ao ponto 34 (Figura 27).

Figura 27 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 06/09/2021.

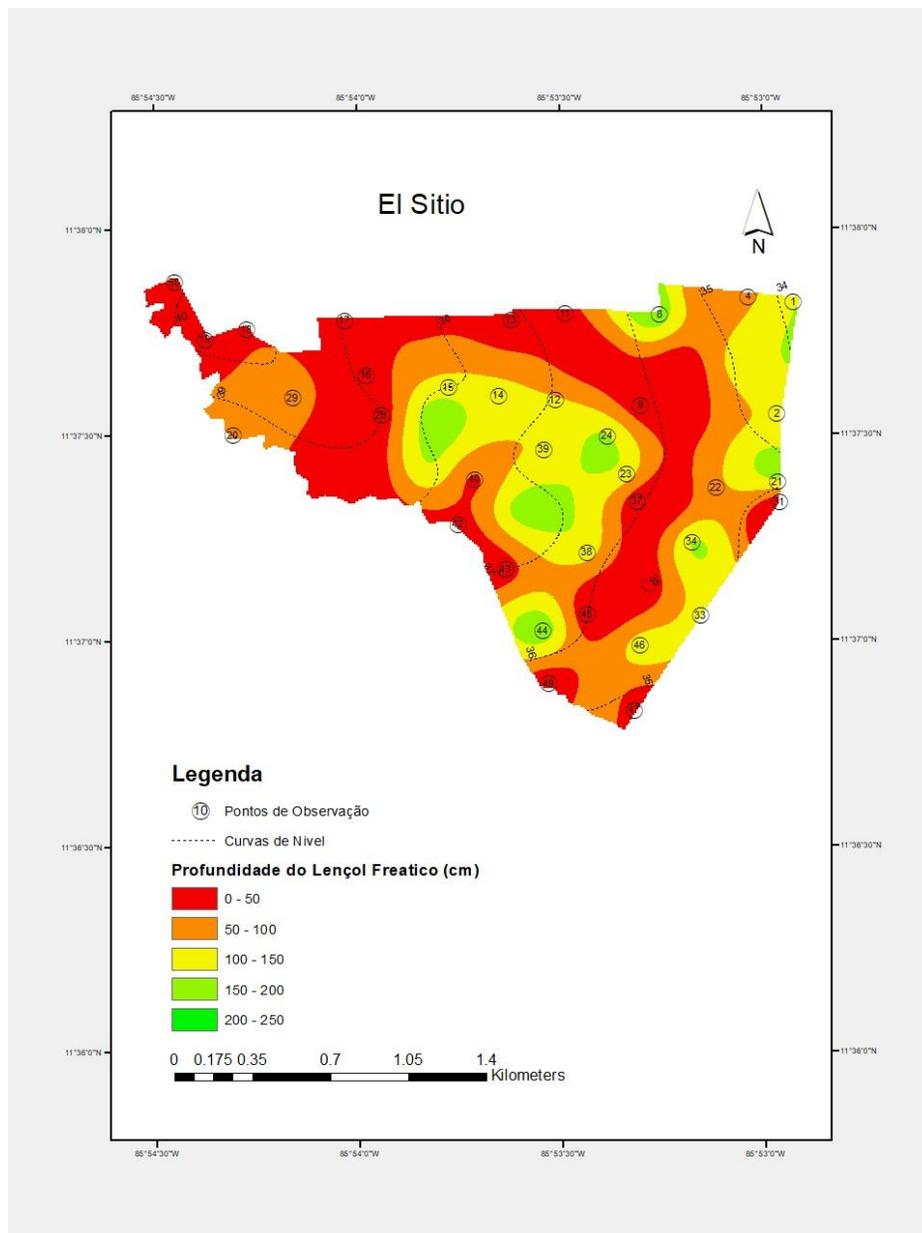


Fonte: Autor.

O quinto conjunto de leituras realizado neste ano na área de El Sitio foi realizado no dia 11/10/2021. Segundo a análise dos dados, apenas a região central de El Sitio, não estava com

problemas sérios de drenagem. A maioria da área estava com lençol freático a uma profundidade superior a 0,5 metros (Figura 28).

Figura 28 – Nível do lençol freático em El Sitio no dia 11/10/2021.



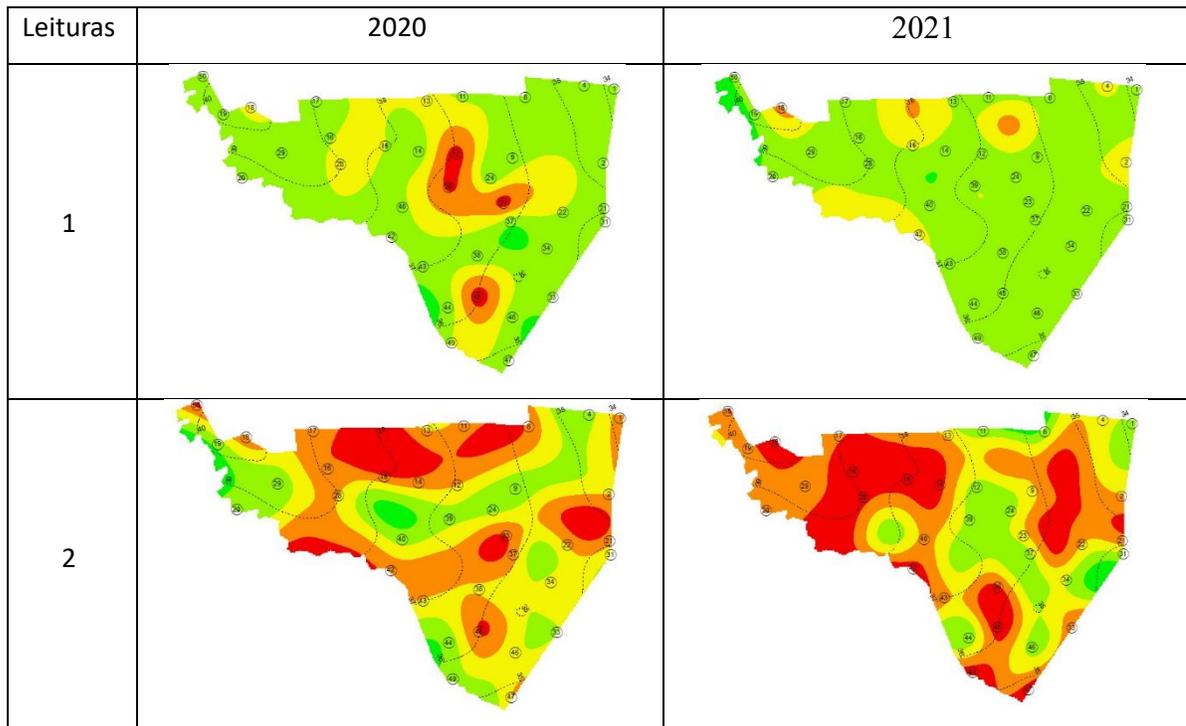
Fonte: Autor.

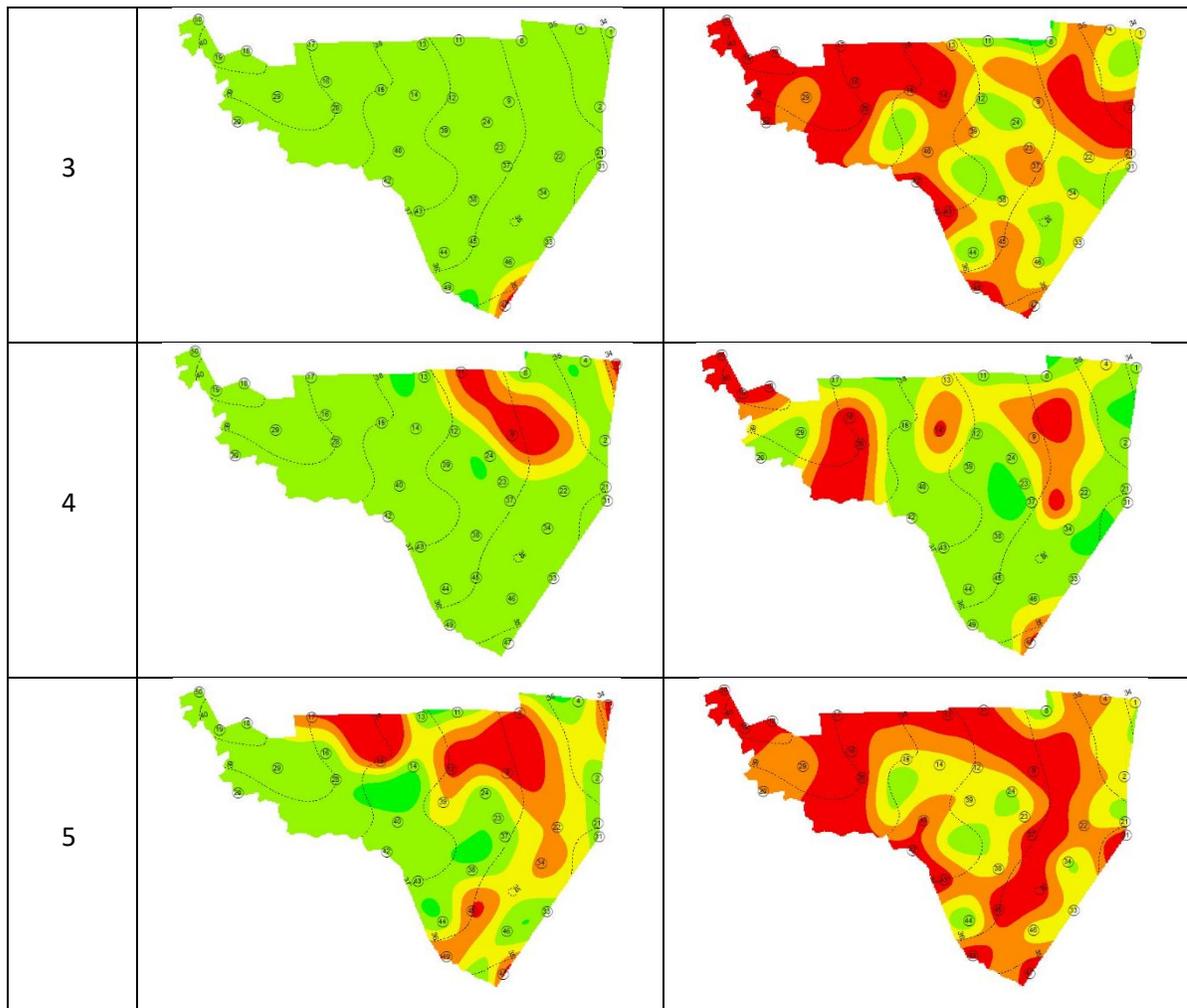
Em 2021, durante o período analisado, a área de El Sitio apresentou falhas de drenagem em 4 meses consecutivos, julho, agosto, setembro e outubro, sendo que a ponta mais a oeste da gleba foi a que apresentou maiores elevações do nível do lençol freático

#### 4.6. Comportamento do Lençol Freático na Área El Sitio em 2020 e 2021

Através da análise temporal dos mapas interpolados da área de El sitio, que evidencia o comportamento do lençol freático entre os meses de junho a setembro de 2020 e junho a outubro de 2021, foi possível notar que a área apresenta problemas de drenagem, com o lençol freático entre 0 e 0,5 metros de profundidade, diversas vezes ao longo do tempo, e em diversos lugares de maneira desuniforme.

Figura 29 – Comportamento temporal do nível do lençol freático em El Sitio nos anos de 2020 e 2021.





Fonte: Autor.

Porém, é evidente que a parte mais ao norte e, principalmente a leste, tem maiores problemas de drenagem que as demais, sendo que o mês de agosto e outubro de 2021 foram os que apresentaram maiores áreas encharcadas.

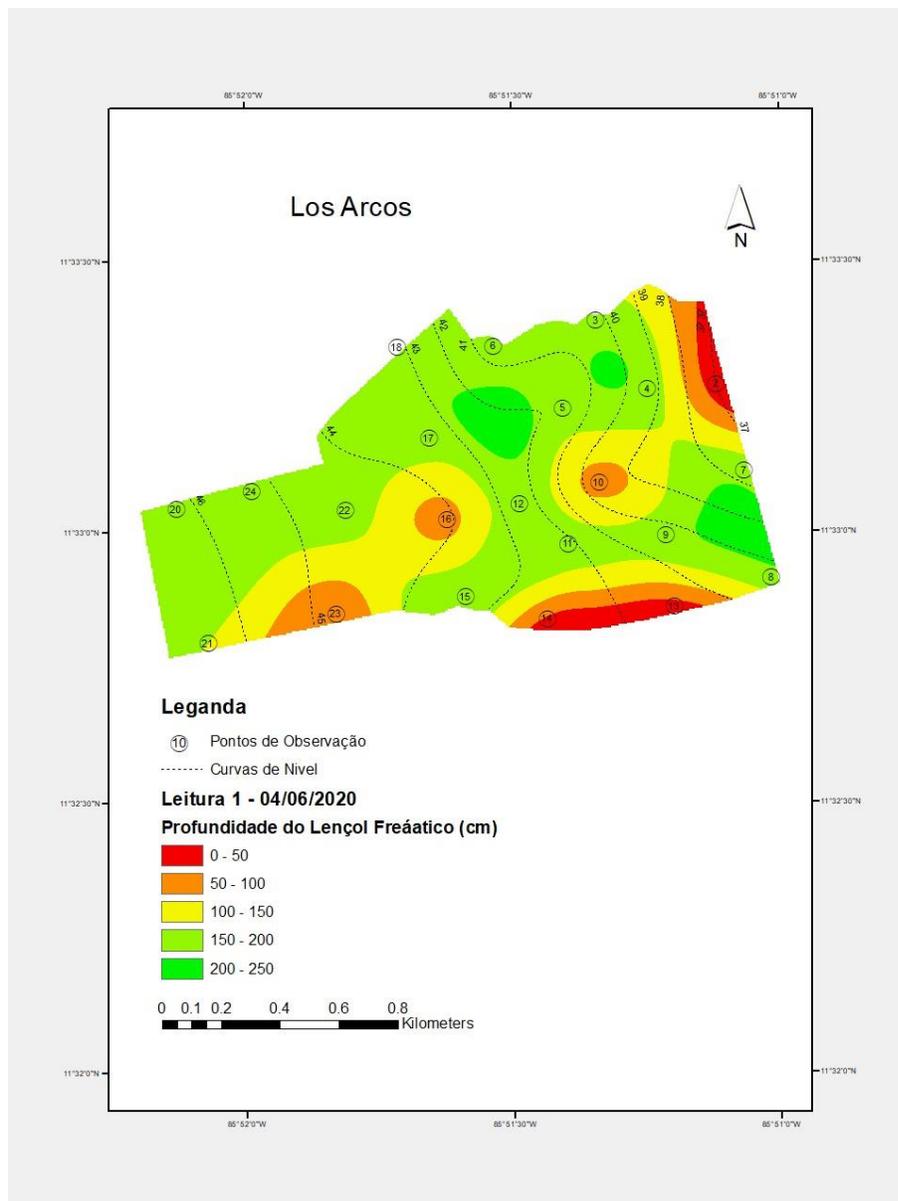
#### 4.7. Comportamento do Lençol Freático na Área Los Arcos em 2020

Em 2020, foram coletados 5 conjuntos de dados sobre a profundidade do lençol freático na área de Los Arcos. Esses dados foram coletados, periodicamente, entre os meses de junho e setembro de 2020. As coletas foram realizadas de modo sequencial, entre 20 e 30 dias.

O primeiro conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Los Arcos foi realizado no dia 04/06/2020. Nessa data, o lençol freático encontrava-se próximo à superfície, entre 0 e 0,5 metros de profundidade, em duas áreas compreendidas respectivamente entre os

postos 13,14, mais ao sul e ao redor do ponto 2 à nordeste. Mais 3 áreas circulares isoladas apresentavam excesso de umidade, sendo elas ao redor do ponto 10, do ponto 16 e do ponto 23. (Figura 30)

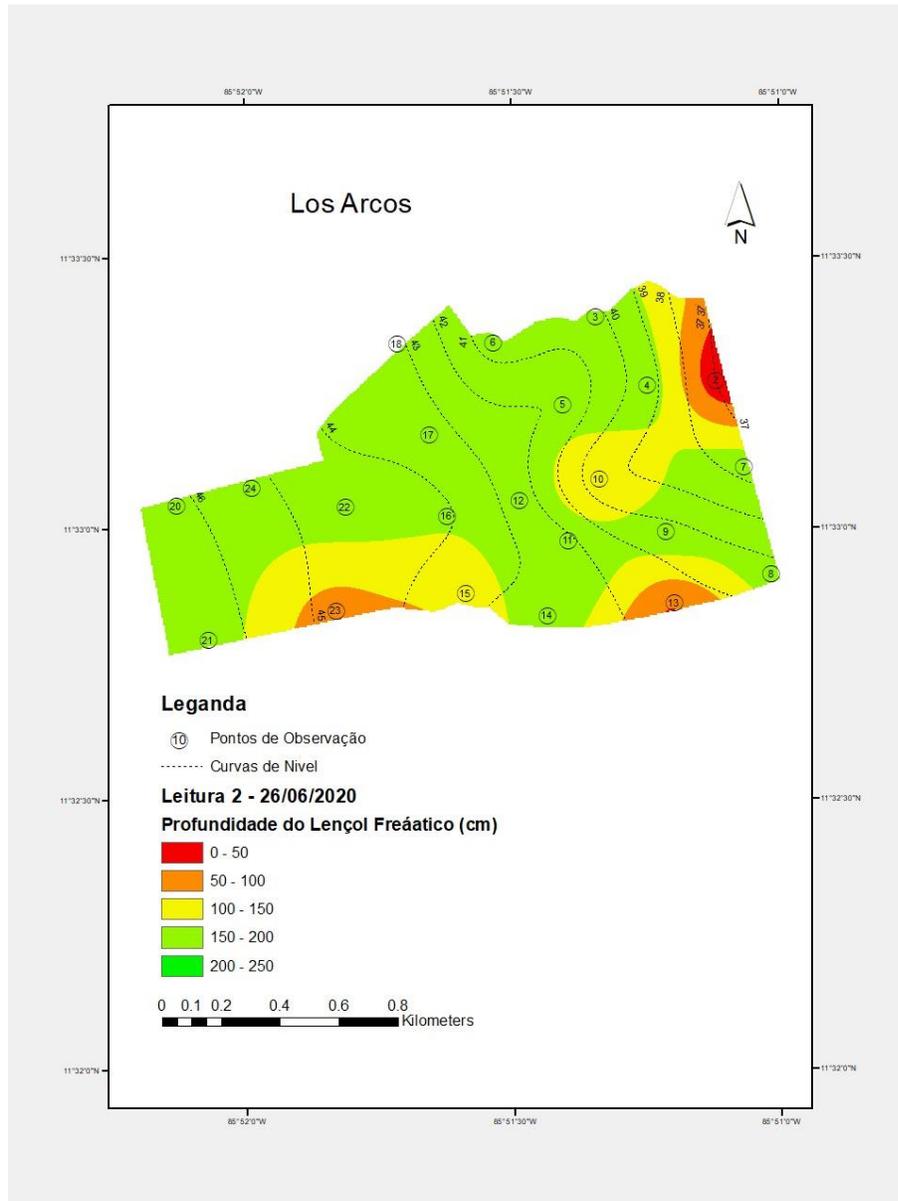
Figura 30 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 04/06/2020.



Fonte: Autor.

O segundo conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Los Arcos foi realizado 22 dias após o primeiro conjunto de amostras, no dia 26/06/2020. Nessa ocasião, apenas ao redor do ponto 2, região nordeste de Los Arcos, ainda apresentava excesso de umidade com lençol freático acima de 0,5 metros de profundidade. A área em torno do ponto 13, antes encharcada, estava com lençol freático entre 0,5 e 1 metro de profundidade, enquanto ao redor do ponto 14 o lençol freático estava abaixo de 1,5 metros de profundidade, evidenciando uma maior drenagem nesse último ponto. (Figura **31**)

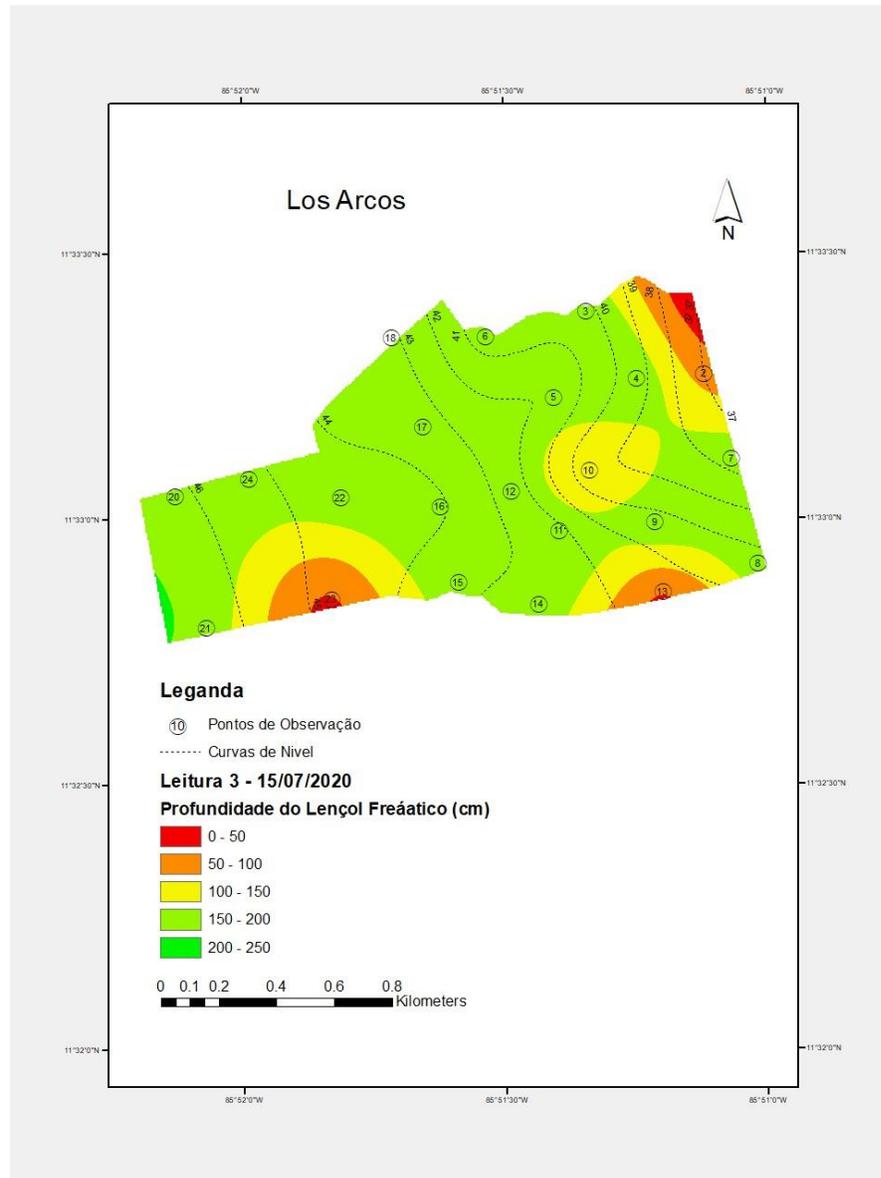
Figura 31 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 26/06/2020.



Fonte: Autor.

O terceiro conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Los Arcos foi realizado no dia 15/07/2020, cerca de 20 dias após a segunda leitura. Nessa data, a área ao redor do ponto 13 ainda estava com excesso de umidade entre 0. E 1 metro de profundidade. Além disso, a área mais a nordeste de Los Arcos volta a ter elevação do lençol freático acima de 0,5 metros acima do ponto 2, a 37 metros de altitude. Outra área circular, em torno do ponto 23, também apresentou excesso de umidade entre 0 e 0,5 metros de profundidade. (Figura 32)

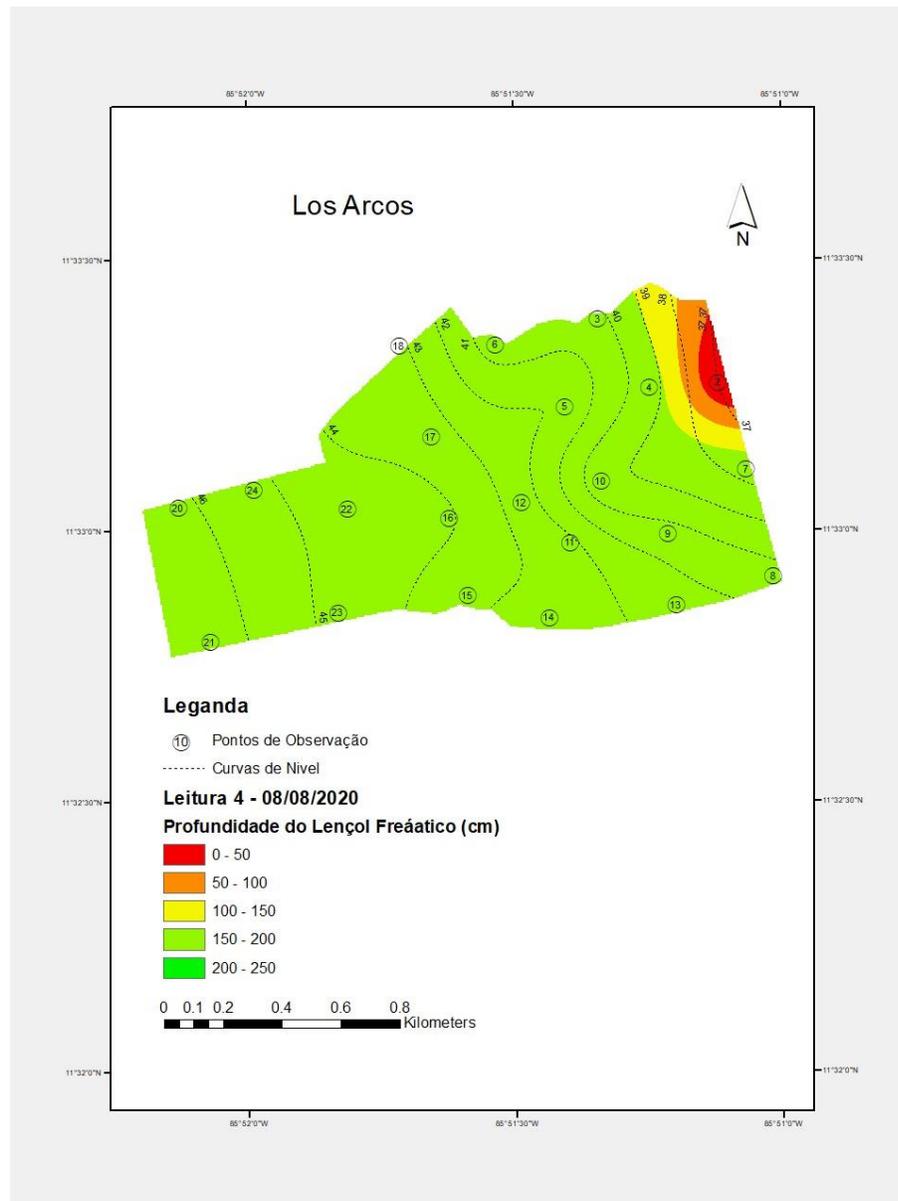
Figura 32 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 15/07/2020.



Fonte: Autor.

O quarto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Los Arcos foi realizado no dia 08/08/2020. Nessa ocasião, apenas a região nordeste de Los Arcos apresentava elevação da profundidade do lençol freático ao redor do ponto 2. (Figura 33)

Figura 33 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 08/08/2020.

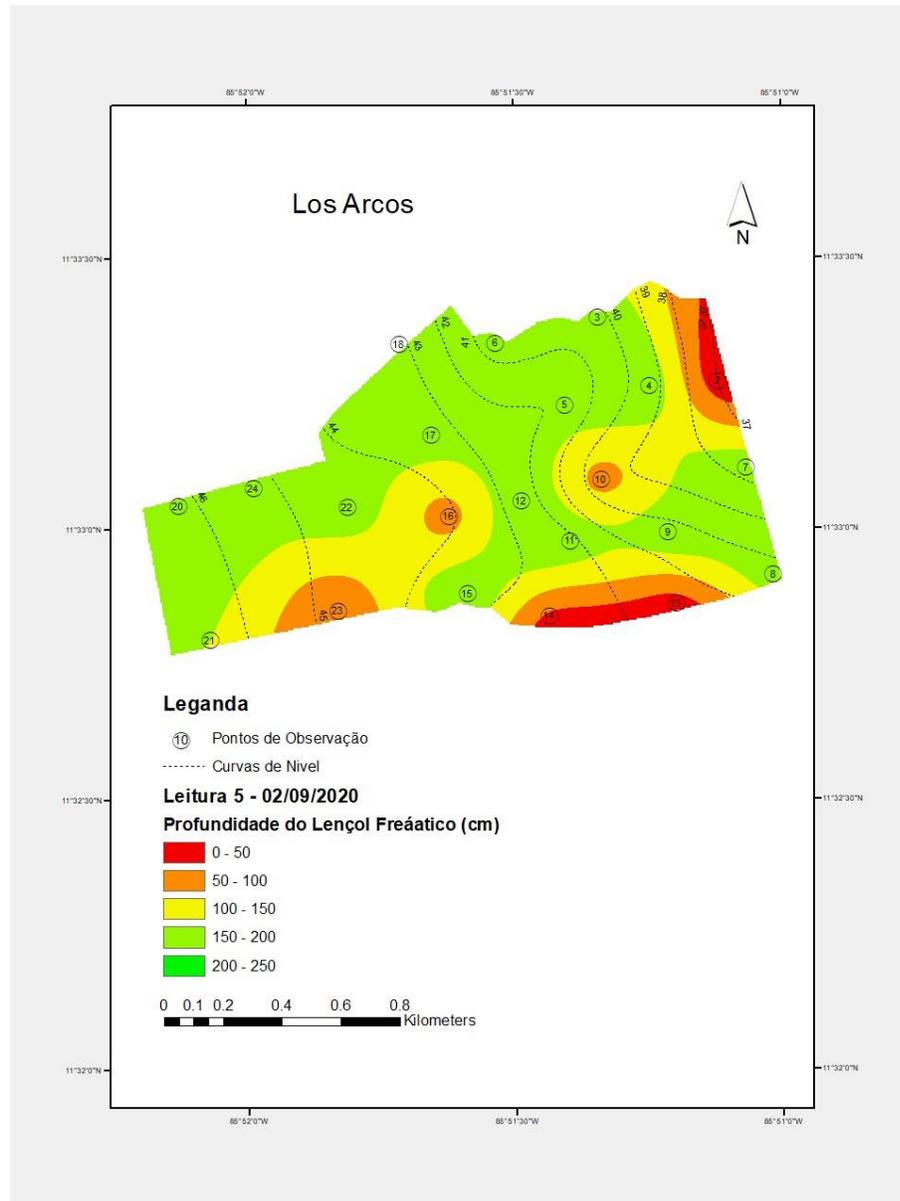


Fonte: Autor.

O quinto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Los Arcos foi realizado no dia 02/09/2020. Nessa ocasião, o comportamento do lençol freático se assemelha muito com o ocorrido no dia 04/06/2020. A região ao redor do ponto 2, à nordeste, e uma área entre os pontos 13 e 14 estava com o lençol freático acima de 0,5 metros de profundidade. ( ).

Figura 34).

Figura 34 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 02/09/2020.



Fonte: Autor.

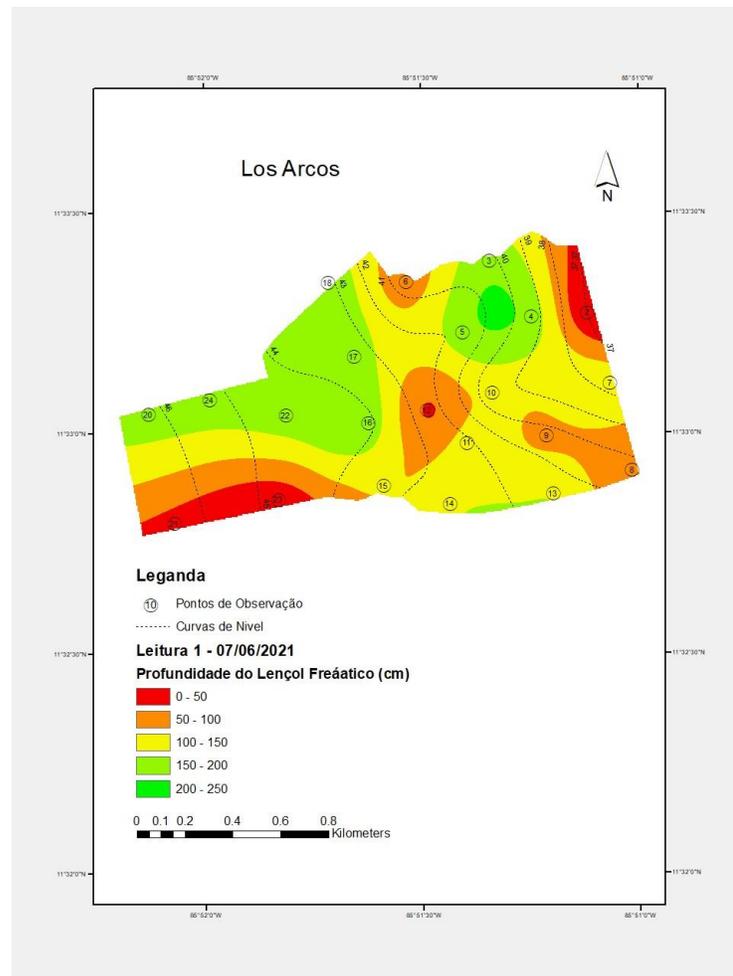
No ano de 2020, houve problemas de drenagem na área de Los Arcos, principalmente em duas regiões mais isoladas, sendo elas ao redor do ponto 2 a nordeste e entre os pontos 13 e 14 mais ao sul da gleba.

#### 4.8. Comportamento do Lençol Freático na Área Los Arcos em 2021

Em 2021, foram coletados 5 conjuntos de dados sobre a profundidade do lençol freático na área de Los Arcos. Esses dados foram coletados, periodicamente, entre os meses de junho e outubro de 2021. As coletas foram realizadas de modo sequencial, entre 30 e 40 dias.

O primeiro conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021 em Los Arcos foi em 07/06/2021. Nesse começo de mês de junho, a região em torno do ponto 2 estava com o lençol freático entre 0 e 0,5 metros de profundidade, além de uma área com gradiente circular de menor para maior profundidade do lençol freático, em torno do ponto 12, e uma região a sudoeste entre os pontos 21 e 23. Vale lembrar que, entre os pontos 8 e 9, o lençol também estava elevado, estando entre 0,5 e 1 metro de profundidade. (Figura 35).

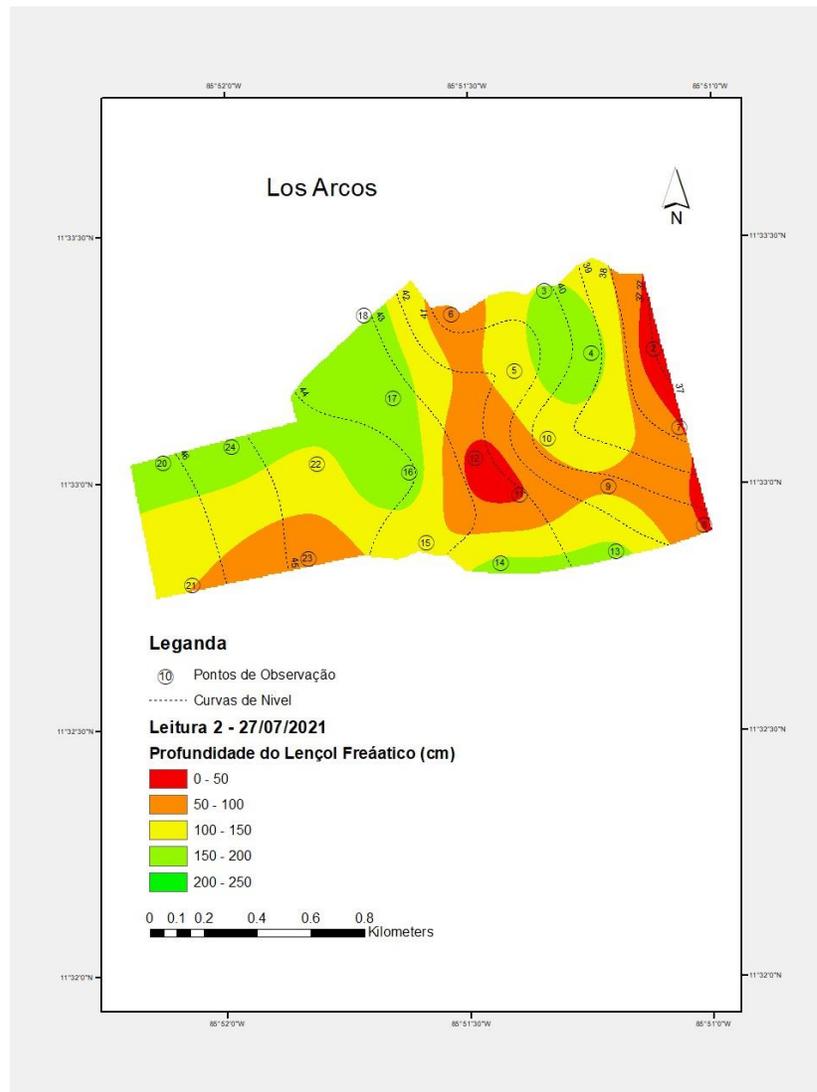
Figura 35 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 07/06/2021.



Fonte: Autor.

O segundo conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021 em Los Arcos foi realizado no dia 27/07/2021. Nessa data, os pontos 13 e 14 estavam com o lençol freático entre 1,5 e 2 metros de profundidade. Porém, ao redor do ponto 2, a nordeste, se estendendo até o ponto 8 mais ao sul estava com excesso de umidade, onde o lençol freático se encontrava entre 0 e 0,5 metros de profundidade. Além disso, ao redor dos pontos 11 e 12, também havia grande elevação no nível do lençol freático, com um gradiente crescente de profundidade na região central de Los Arcos. (Figura 36)

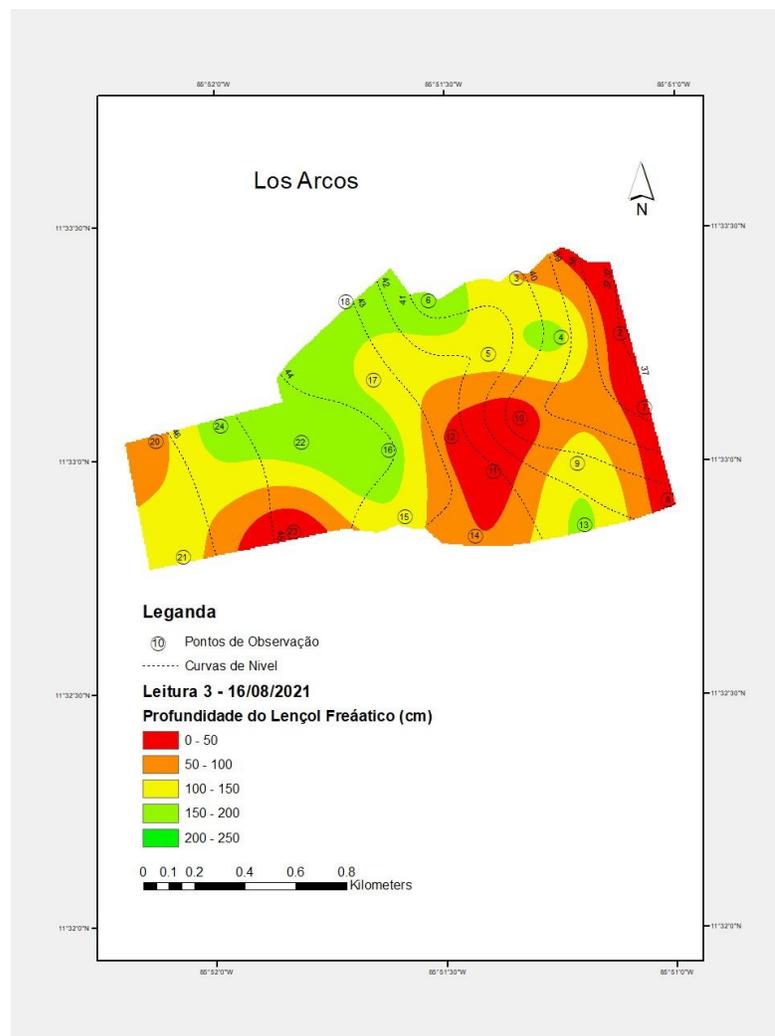
Figura 36 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 27/07/2021.



Fonte: Autor.

O terceiro conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021 em Los Arcos foi realizado no dia 16/08/2021. Vinte dias após a segunda amostra de profundidade, a área encharcada aumentou, principalmente na região central. Ali formou um grande crescente de profundidade começando em uma área circular desuniforme entre os pontos 10, 11 e 12, com lençol freático entre 0 e 0,5 metros de profundidade. O lençol freático ali se estende rumo a leste, a uma profundidade entre 0,5 e 1 metro de profundidade até que chega aos 39 metros de altitude e então a uma elevação total da parte leste de Los Arcos, onde o lençol freático fica entre 0 e 0,5 metros de profundidade. (Figura 37)

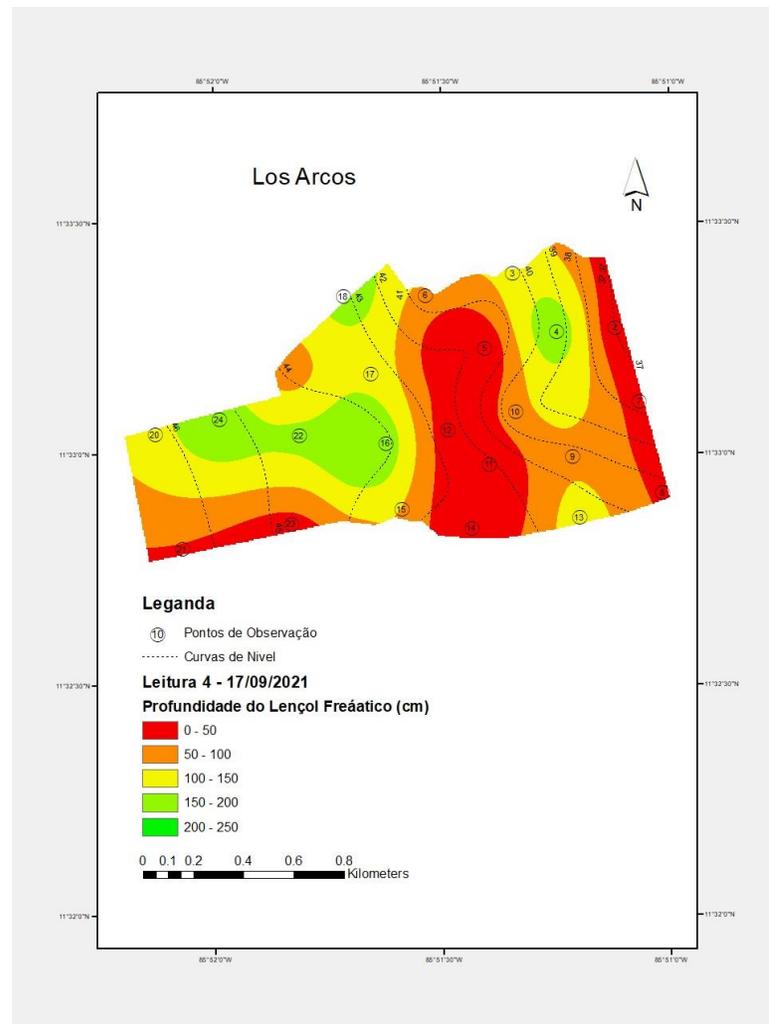
Figura 37 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 16/08/2021.



Fonte: Autor.

O quarto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021 em Los Arcos foi realizado em 17/09/2021, praticamente um mês após a terceira análise do comportamento do lençol freático naquele ano. As regiões mais prejudicadas com encharcamento continuam com lençol freático acima de 0,5 metros de profundidade. Porém, a área central que se encontrava encharcada dia 16/08/2021 desta vez é maior englobando, além dos pontos 10, 11, 12, os pontos 5 e 14, formando uma mancha completa de norte a Sul no meio de Los Arcos. Vale lembrar que, ao redor dos pontos 21 e 23, também houve elevação do lençol freático que foi se aprofundando gradualmente até ao redor dos pontos 16, 22 e 24 que estavam entre 1,5 e dois metros de profundidade. Como pode ser visto na figura Figura 38.

Figura 38 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 17/09/2021.

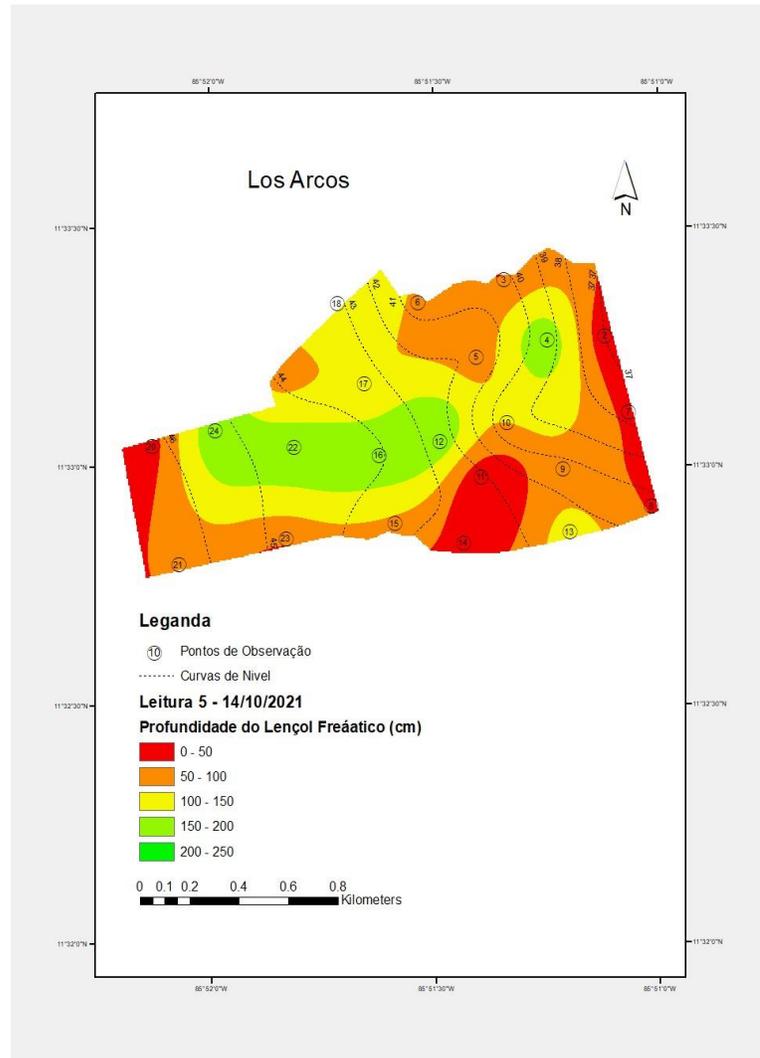


Fonte: Autor.

O quinto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021 em Los Arcos foi realizado no dia 14/10/2021. Passados quase um mês entre a quarta e quinta leitura de profundidade do lençol freático, uma região que engloba os pontos 11 e 14, uma parte mais a oeste, em torno do ponto 20 e praticamente toda parte leste a partir do ponto 4, estava com lençol freático acima 0,5 metros de profundidade. Houve maior drenagem na região central, em que a parte que se encontrava a 1,5 e 2,0 metros de profundidade, passa englobar também o ponto 12, além dos pontos 16, 22 e 24. Porém a grande parte periférica da gleba Los Arcos, se encontrava com excesso de umidade entre 0,5 e 1 metro de profundidade. ()

Figura 39)

Figura 39 – Nível do lençol freático em Los Arcos no dia 14/10/2021.



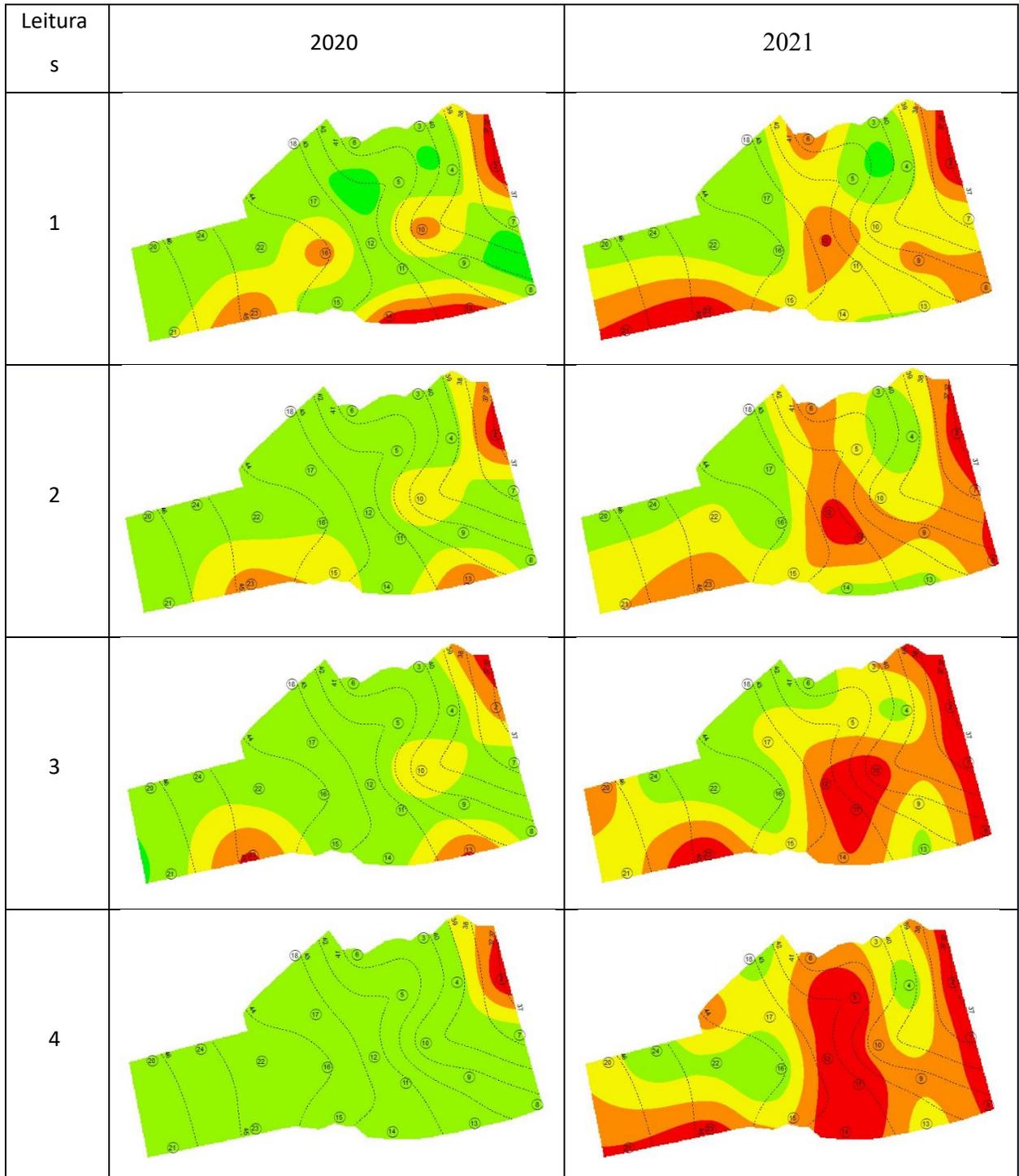
Fonte: Autor.

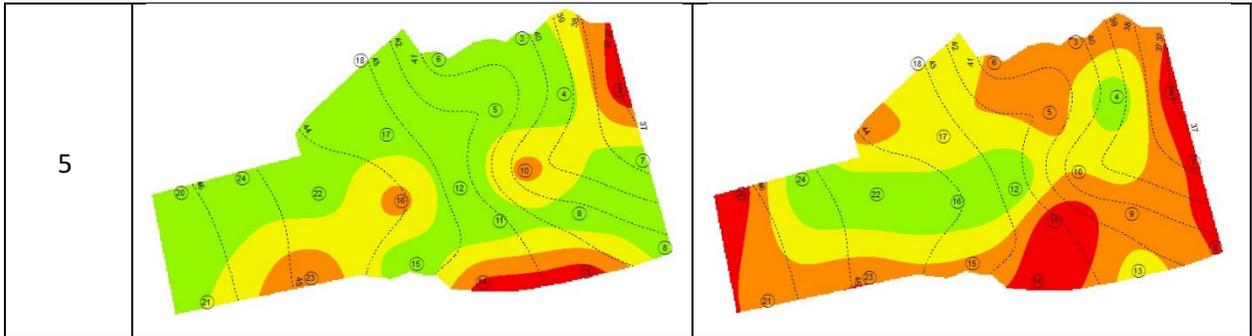
No ano de 2021, houve problemas de drenagem na gleba de Los Arcos em todas as ocasiões analisadas. Com destaque para o mês de setembro, na leitura quatro, onde houve maior elevação do nível do lençol freático. A parte central da gleba, nos arredores dos pontos 11 e 12, e a parte periférica a leste, foram as que apresentaram maiores elevações durante o período analisado.

#### 4.9. Comportamento do Lençol Freático na Área Los Arcos em 2020 e 2021

Ao analisar o conjunto de dados de 2021 e 2020, nota-se que em 2021 houve maiores elevações no nível do lençol freático na área de Los Arcos.

Figura 40 – Comportamento temporal do nível do lençol freático em Los Arcos nos anos de 2020 e 2021





Fonte: Autor.

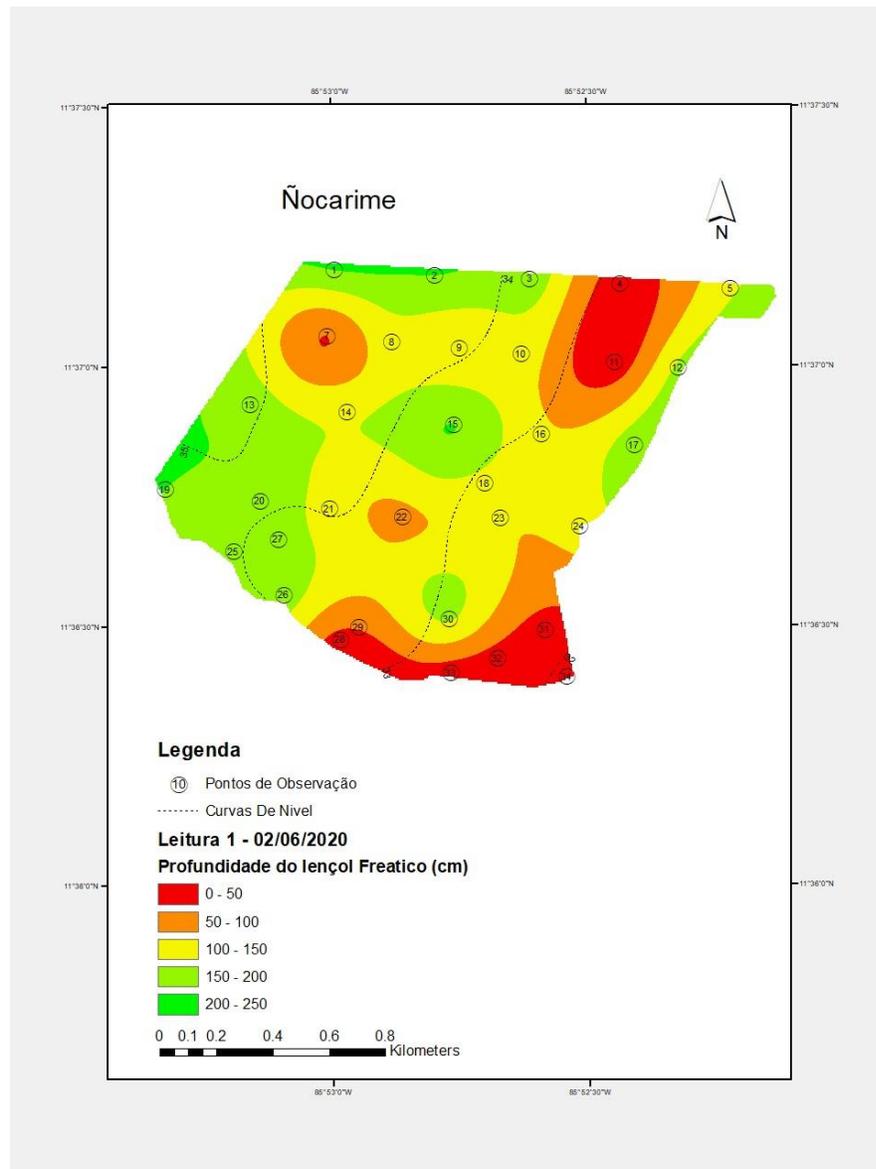
Em todos os anos analisados, a região periférica a leste da área, foi que apresentou um comportamento mais uniforme, com lençol freático acima de 0,5 metros de profundidade, em pelo menos um terço desta lateral em todas as ocasiões. A parte central de Los Arcos, também continha o lençol freático acima de 1 metro de profundidade em todo ano de 2021 e em 4 leituras de 2020.

#### 4.10 Comportamento do Lençol Freático na Área Ñocarime em 2020

Em 2020, foram coletados 5 conjuntos de dados sobre a profundidade do lençol freático na área de Ñocarime. Esses dados foram coletados, periodicamente, entre os meses de junho e setembro de 2020. As coletas foram realizadas de modo sequencial, entre 20 e 30 dias.

O primeiro conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Ñocarime foi realizado no dia 02/06/2020. Nessa ocasião, havia um gradiente crescente de profundidade que começava entre 0 e 0,5 metros de profundidade em torno dos pontos 4 e 11 na região mais ao norte de Ñocarime. Também a parte sul enfrentava forte elevação do lençol freático, que se mantinha entre 0 e 0,5 metros de profundidade entre os pontos 28,31,32,33 e 34. Na parte central da gleba o lençol se encontrava em profundidades superiores a 1,5 metros de profundidade em torno do ponto 5. Enquanto que ao redor dos pontos isolados 7 e 22 o nível do lençol freático estava entre 0,5 e 1 metro de profundidade. (Figura 41)

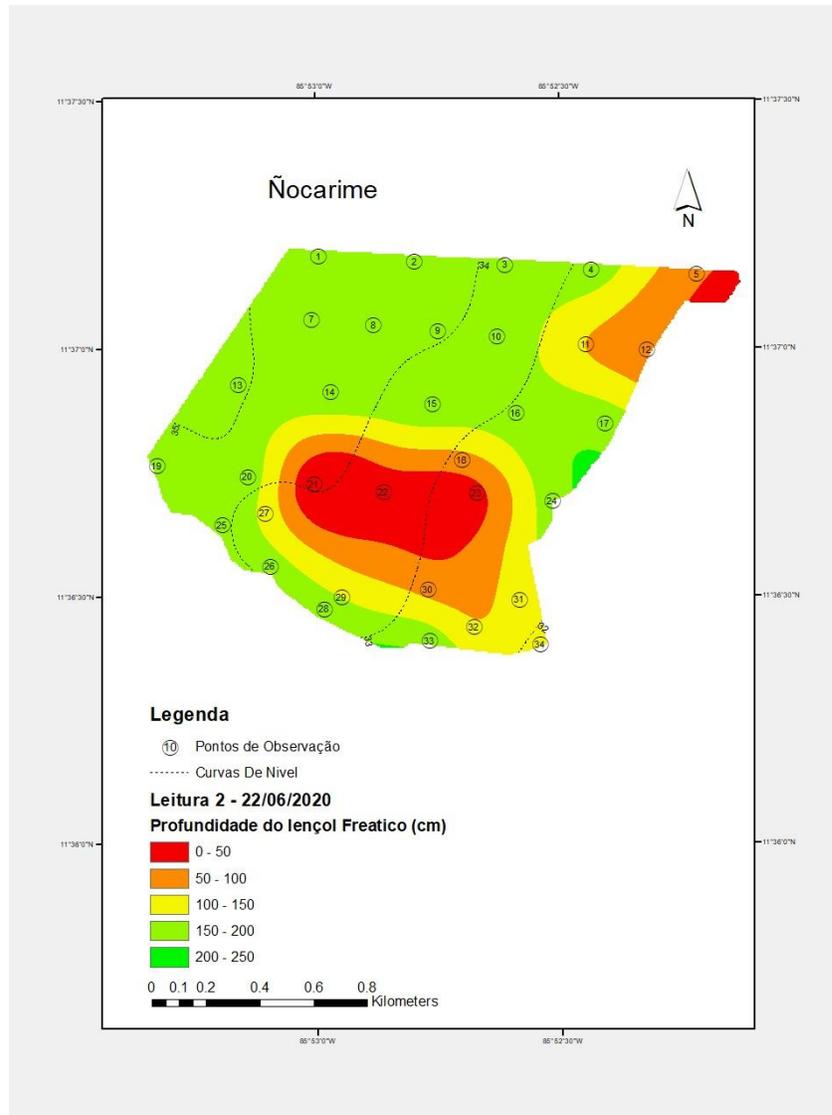
Figura 41 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 02/06/2020.



Fonte: Autor.

O segundo conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Ñocarime foi realizado no dia 22/06/2020. Nessa data, o lençol se encontrava acima de 0,5 metros de profundidade em uma região centro-sul da gleba, englobando os pontos 21, 21 e 23 em formato esférico, com gradiente crescente de profundidade. O lençol freático também estava acima dos 0,5 metros de profundidade em uma pequena região mais a nordeste de Ñocarime, à direita do ponto 5, com um gradiente crescente de profundidade a partir deste ponto. No restante da área o lençol permanecia acima de 1,5 metros de profundidade. (Figura 42)

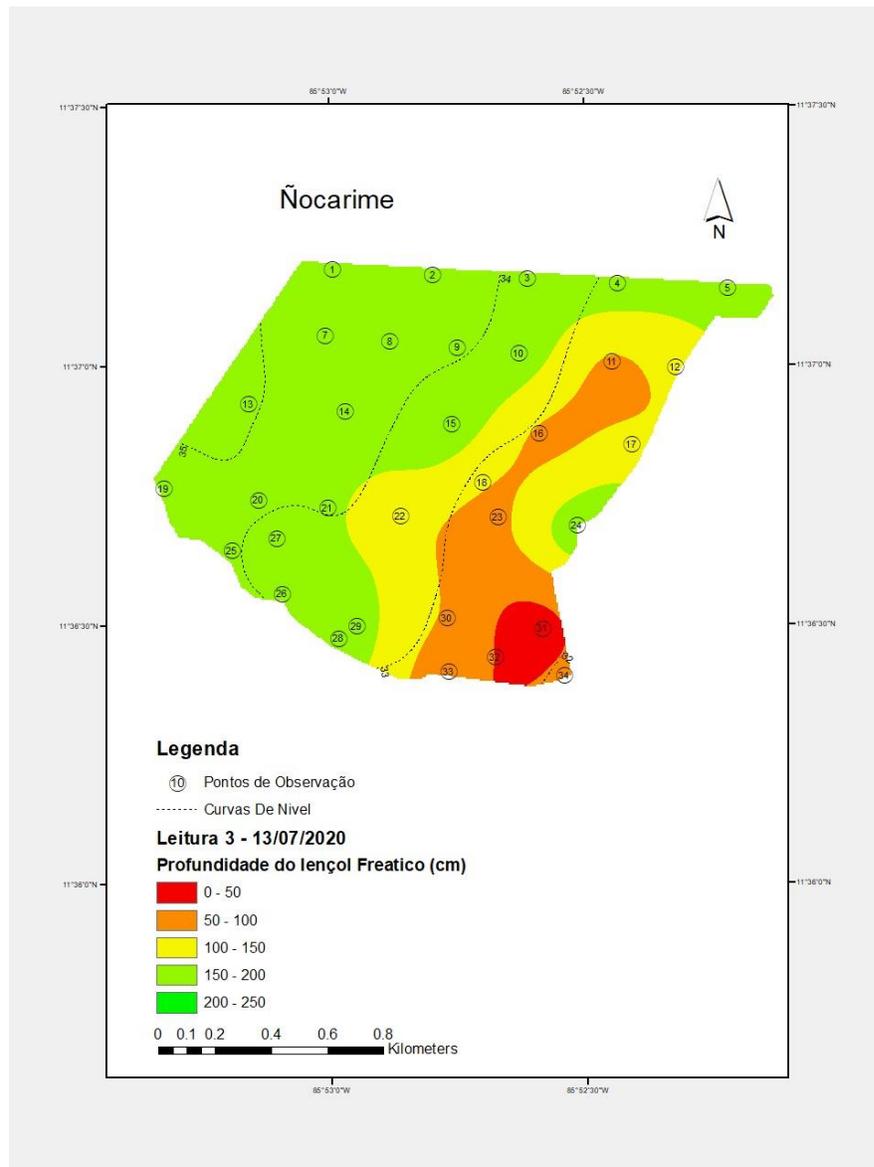
Figura 42 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 22/06/2020.



Fonte: Autor.

O terceiro conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Ñocarime foi realizado no dia 13/07/2020. Nessa ocasião, o lençol se encontrava acima dos 0,5 metros de profundidade na região sudeste, em torno dos postos 31 e 32 com um gradiente crescente de profundidade que se estendia rumo ao centro norte até o ponto 11 entre 0,5 e 1 metro de profundidade. (Figura 43)

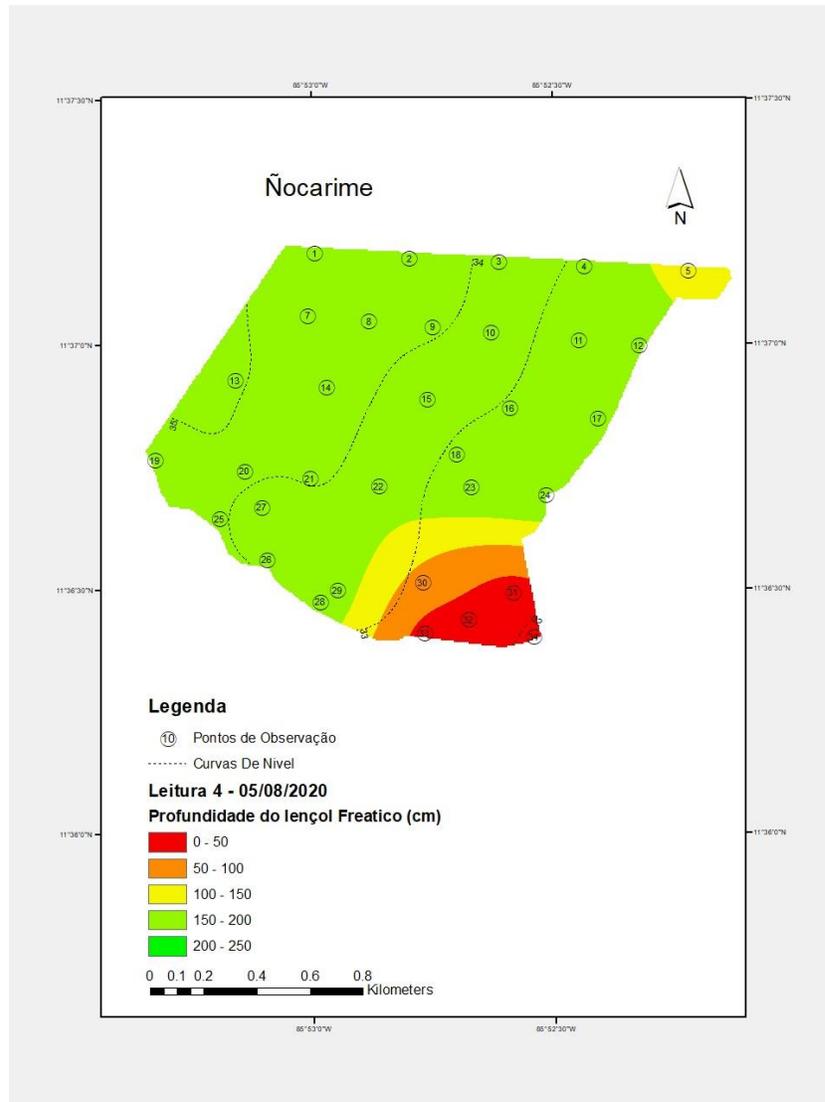
Figura 43 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 13/07/2020.



Fonte: Autor.

O quarto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Ñocarime foi realizado no dia 05/08/2020. Nessa ocasião, o lençol freático continua em níveis elevados na região Sul da gleba, permanecendo acima dos 0,5 metros de profundidade entre a divisa e os pontos 33,32, e 31 com gradiente crescente de profundidade até o ponto 30 onde ele se encontrava entre 0,5 e um metro de profundidade. No restante da área o lençol freático se encontrava a mais de 1,5 metros de profundidade, exceto em uma área isolada, ao redor do ponto 5 em que ela oscilava entre 1 e 1,5 metros de profundidade.

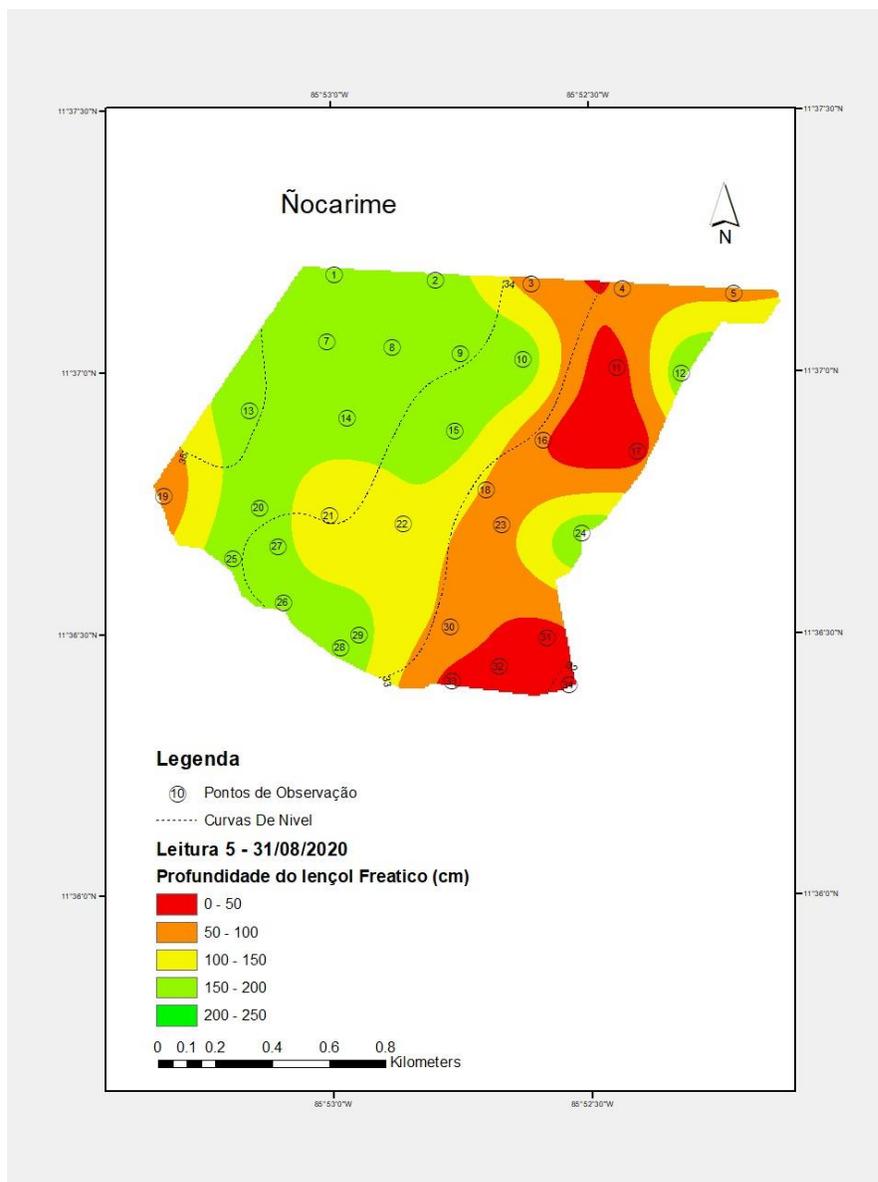
Figura 44 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 05/08/2020.



Fonte: Autor.

O quinto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2020 em Ñocarime foi realizado no dia 31/08/2020. Nessa ocasião, o lençol freático se encontra acima de 1 metro de profundidade em quase toda a área entre os 33 e 32 metros de altitude. Vale destacar que a região onde ele se encontrava mais alto, entre 0,5 e 0 metros de profundidade, foi a região sudeste ao redor dos pontos 33,32,31 e 34, além de uma área periforme entre os pontos 11, 16, e 17. Como pode ser visto na figura abaixo.

Figura 45 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 31/08/2020.



Fonte: Autor.

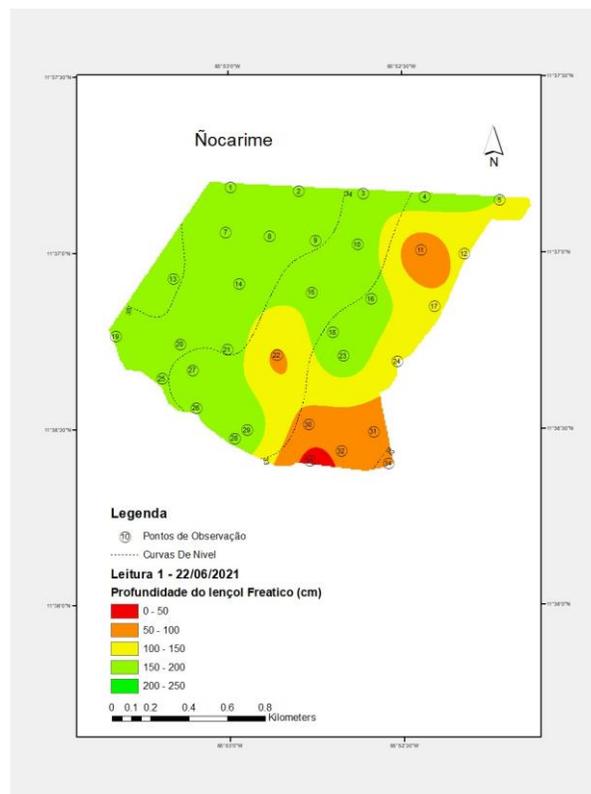
Em 2020 houve elevação do lençol freático acima dos 0,5 metros em todas as leituras realizadas, com destaque para a região sudeste onde ocorreu as maiores elevações e para a área compreendida entre a curva de 33 metros de altitude e a de 32, região leste de Ñocarime, onde o lençol correra acima de 1 metro de profundidade em 4 das 5 leituras analisadas.

#### 4.11. Comportamento do Lençol Freático na Área na área Ñocarime em 2021

Em 2021, foram coletados 5 conjuntos de dados sobre a profundidade do lençol freático na área de Ñocarime. Esses dados foram coletados, periodicamente, entre os meses de junho e outubro de 2021. As coletas foram realizadas de modo sequencial, entre 30 e 40 dias.

O primeiro conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021, em Ñocarime, foi em 22/06/2021. Nessa ocasião, o lençol freático estava acima de 1 metro de profundidade ao redor do ponto 22, ao redor do ponto 11 e na região sudeste a partir do ponto 30 até a divisa da gleba. Destacando-se o ponto 30 onde o nível se encontrava entre 0 e 0,5 metros de profundidade. (Figura 46)

Figura 46 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 22/06/2021.

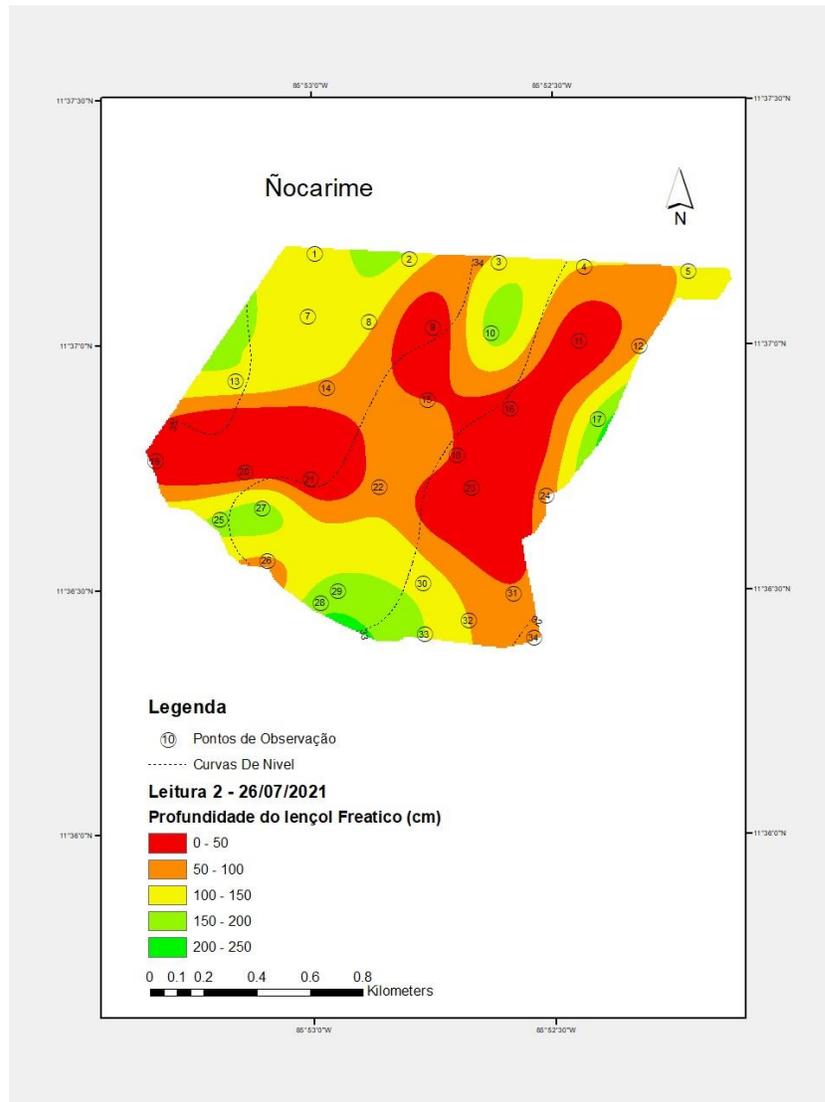


Fonte: Autor.

O segundo conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021 em Ñocarime foi realizado no dia 26/07/2021. Nesse final de julho, o lençol freático se encontrava acima dos 0,5 metros de profundidade em grande parte da área, principalmente a leste dos 33 metros de altitude, e entre os pontos 19,20,21. O gradiente crescente de profundidade do lençol, mostra que nas áreas ao redor dos pontos 28 e 29, do 17, do 10, e do 25 e 27 o lençol se encontrava em profundidades superiores

a 1,5 metros de profundidade, revelando possíveis pontos de drenagem. Como pode ser visto na Figura 47.

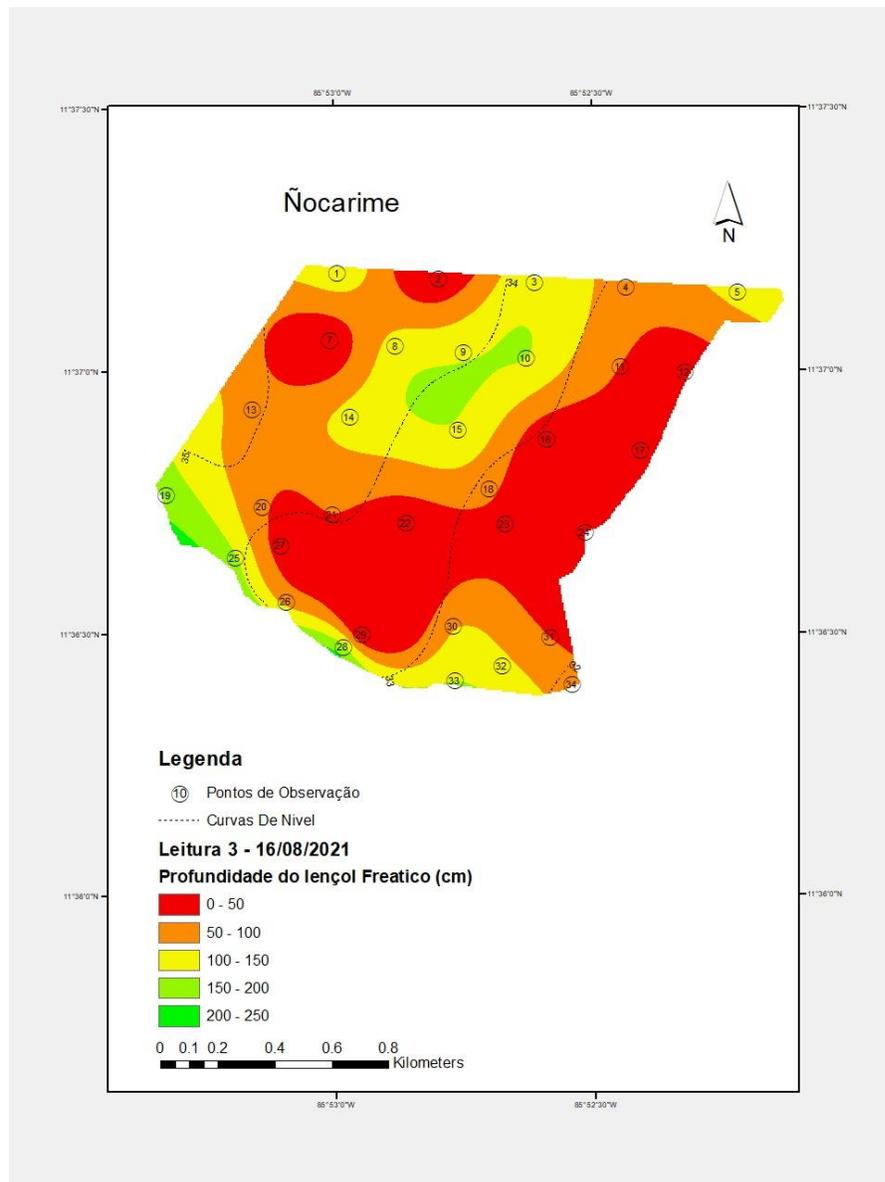
Figura 47 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 26/07/2021.



Fonte: Autor.

O terceiro conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021 em Ñocarime foi realizado no dia 16/08/2021. Nessa ocasião, o lençol freático estava acima de 1 metro de profundidade na grande maioria do terreno. Em diversas áreas, ele estava acima de 0,5 metros de profundidade e em apenas 3 pequenas regiões ele oscilava entre 1,5 e 2 metros de profundidade, sendo elas: ao redor do ponto 28, entre o ponto 25 e 19, e entre os pontos 9,10 e 15. (Figura 48)

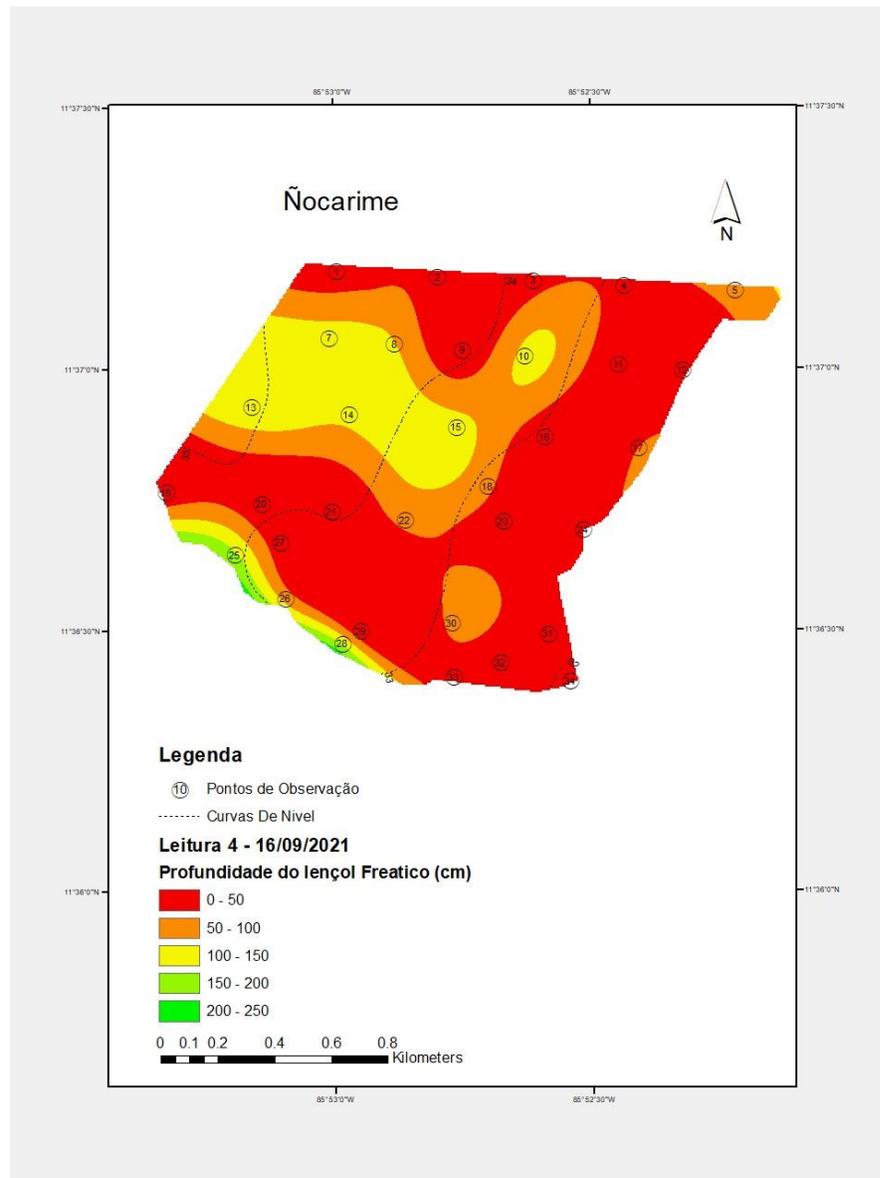
Figura 48 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 16/08/2021.



Fonte: Autor.

O quarto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021 em Ñocarime foi realizado no dia 16/09/2021. Naquele dia, praticamente toda a área estava encharcada com lençol freático acima de 0,5 metros de profundidade. Apenas em uma microrregião, em formato de linha na divisa de Ñocarime, a sudoeste, o lençol freático estava entre 1,5 e 2 metros de profundidade. (Figura 49)

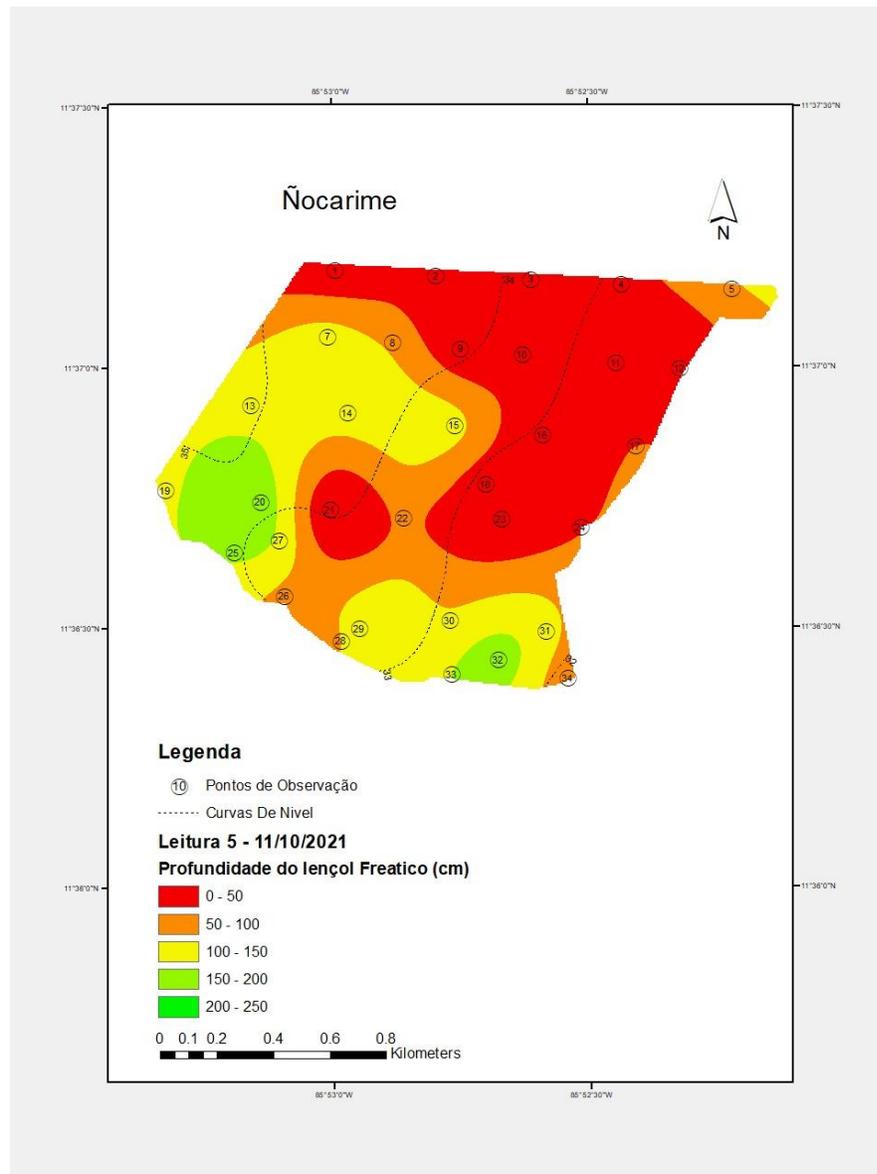
Figura 49 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 16/09/2021.



Fonte: Autor.

O quinto conjunto de leituras realizado na área no ano de 2021 em Ñocarime foi realizado no dia 11/10/2021. Naquele início de outubro, o lençol freático estava acima de 0,5 metros de profundidade em toda a região norte de Ñocarime, se estendendo nesta mesma profundidade rumo sul pelo lado leste da área. As regiões em que ele se encontrava mais profundo eram pequenas e isoladas, ao redor dos pontos 32 e 33 como também ao dos pontos 20 e 25. (Figura 50)

Figura 50 – Nível do lençol freático em Ñocarime no dia 11/10/2021.



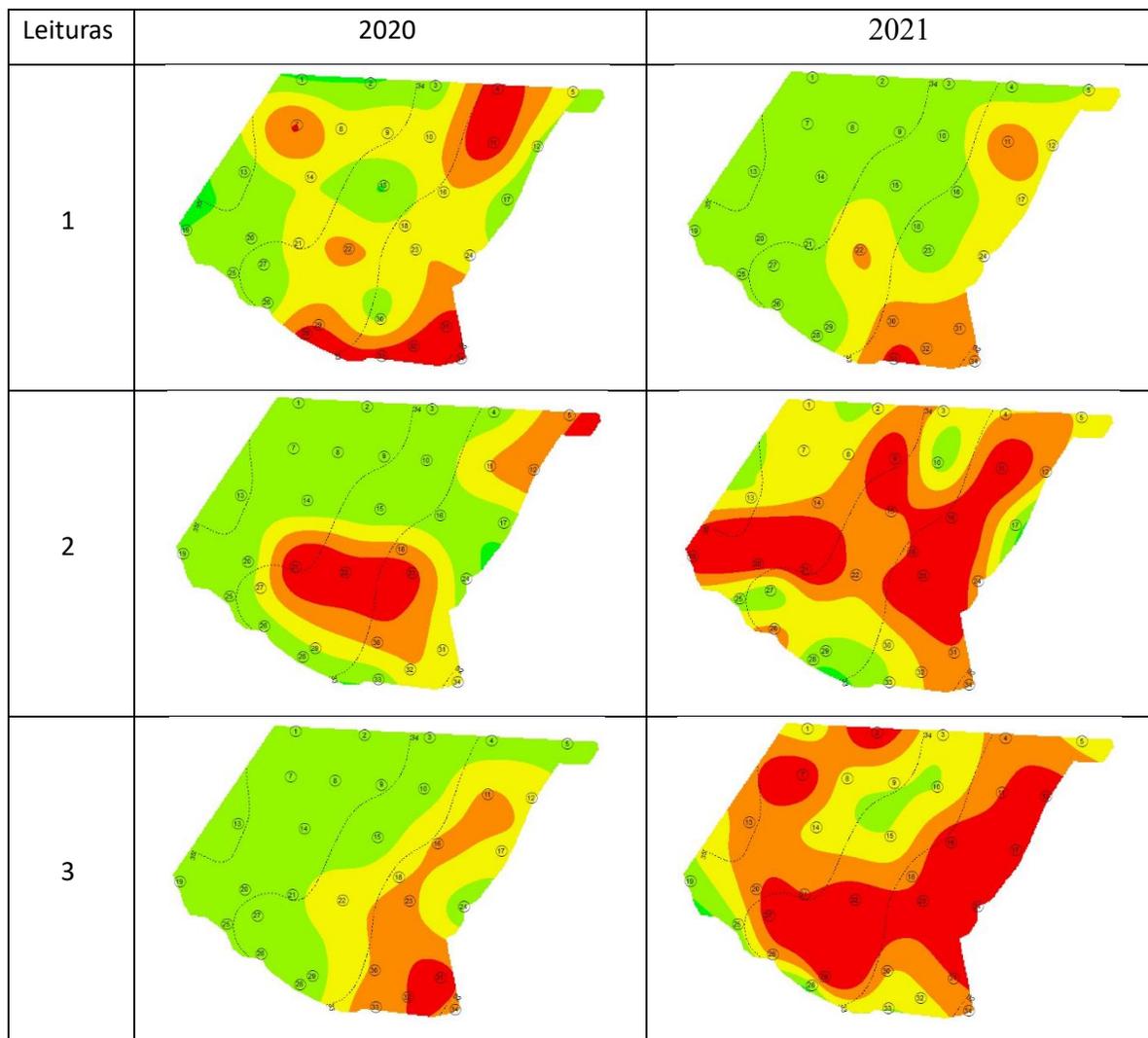
Fonte: Autor.

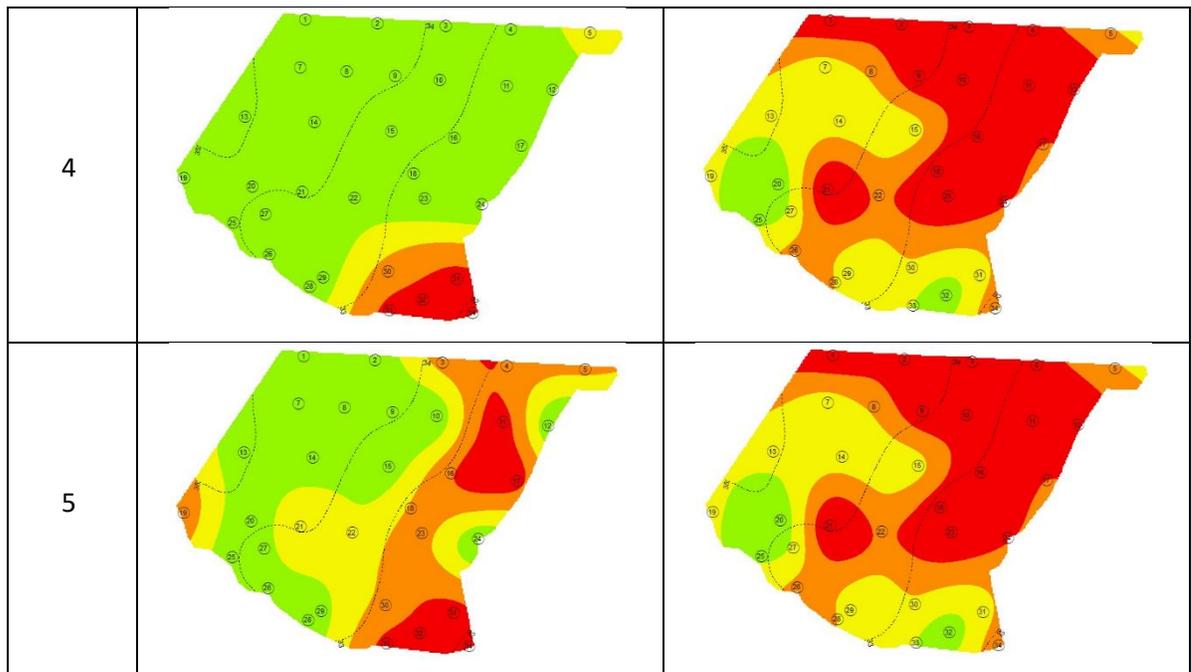
No ano de 2021, o lençol freático estava raso em todas as leituras observadas. De modo que da leitura 1 até a leitura 5, área em que o lençol se encontrava em profundidades acima de 0,5 metros cresceu conforme foram passando os meses. A região leste de Ñocarime foi aquela em que o lençol esteve elevado mais vezes ao longo do ano.

#### 4.12. Comportamento do Lençol Freático na Área Ñocarime em 2020 e 2021

O lençol freático esteve elevado, acima de 0,5 metros de profundidade na gleba de Ñocarime em todas as leituras observadas em 2020 e 2021, o que evidencia a demanda de drenagem dessa gleba.

Figura 51 – Comportamento temporal do nível do lençol freático em Ñocarime nos anos de 2020 e 2021





Fonte: Autor.

No ano de 2021, o lençol freático correu mais elevado que no ano de 2020, principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro. Vale destacar que a região leste da gleba, compreendida entre as curvas de 33 e 32 metros de altitude, foi onde o lençol se manteve mais elevado durante o tempo.

## 5. CONCLUSÃO

A partir da análise das profundidades de lençol freático, coletadas periodicamente nos pontos amostrais, localizados nas áreas El salitre, El Sitio, Los Arcos e Ñocarime da usina CASUR foi possível entender o comportamento do lençol freático dentro de cada gleba ao longo do tempo. Dessa maneira, em todas as quatro glebas, houve maiores elevações do nível de profundidade do lençol freático no de 2021, quando comparadas às elevações ocorridas no ano de 2020.

Nas quatro glebas avaliadas, houve variação temporal do nível do lençol freático, porém, na maioria das avaliações, a demanda de drenagem para o bom desenvolvimento de culturas foi geral para toda área.

Como recomendação, mesmo avaliando-se somente dois anos, fica evidente que a área necessita de drenagem para se obter um melhor rendimento da cultura da cana-de-açúcar, possibilitando um uso mais eficiente da área.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARONOFF, S., 1991. **Sistemas de Informação Geográfica: Uma Perspectiva de Gestão**. Publicações WDL, Canadá.
- AZEVEDO, A. A., ALMEIDA FILHO, J. L., 1998, “Águas Subterrâneas”. In: Oliveira, A.M. S., BRITO, S. N. A. (eds.), **Geologia de Engenharia**, 1ª edição, capítulo 8, São Paulo, BR, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia
- BARBOSA, Laíse Keley Lemos. **Zoneamento de aquíferos através da delimitação de perímetros de proteção de poços de abastecimento público de água: o caso da Cidade de João Pessoa –PB**. Programa de pós-graduação em engenharia urbana. Universidade Federal da Paraíba Centro de Tecnologia, 2007. Disponível em: <http://btdt.biblioteca.ufpb.br>. Acesso em 02 de Maio de 2019.
- BARTON, L. et al. Turfgrass (*Cynodon dactylon* L.) sod production on sandy soils: II. Effects of irrigation and fertiliser regimes on N leaching. **Plant and Soil**, v.284, p.147-164, 2006.
- BLACKBURN, F. Sugarcane. New York: **Longman**, 1984. 414p
- BROUYÈRE. S.; Dassargues, A.; Hallet, V. Migration of contaminants through the unsaturated zone overlying the Hesbaye chalky aquifer in Belgium: A field investigation. **Journal of Contaminant Hydrology**, v.72, n.1-4, p.135-164, 2004
- BURROUGH, PA, 2001. **SIG e geoestatística: parceiros essenciais para análise espacial**. In: Estatísticas Ambientais e Ecológicas. vol. 8. Kluwer Academic Editores, pp. 361-377
- CRUCIANI, D.E. **Caracterização agrônômica de coeficientes de drenagem para elaboração de projetos**. In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 4., 1981b. Fortaleza. Anais... Fortaleza: ABRH, 1981b. p.500-514.
- CRUCIANI, D.E.; MINAMI, K. Susceptibilidade do pimentão (*Capsicum annum* L.) a inundações temporárias do sistema radicular. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.39, p.137-150, 1982.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. Efectos del agua sobre el redimiento de los cultivos. **Roma: FAO**, 1979. 212 p. (FAO, Riego y Drenaje, 33)
- DUARTE, S. N.; Miranda, J. H.; Folegatti, M. V. Dimensionamento econômico de sistemas de drenagem para a produção de cana-de-açúcar usando o modelo SISDRENA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.6, n.1, p.1-6, 2001.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. **Rev. atual**. Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. **Rev. atual.** Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. **Rev. atual.** Brasília, DF: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

HALBAC-COTOARA-ZAMFIR, Rares et al. Simulation of Subsurface Drainage in the Sugarcane Crop under Different Spacing and Drain Depths. **Land**, v. 11, n. 5, p. 626, 2022.

IRITANI, M.A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente – SMA, 2012. 104p

KRAMER, P.J. Plant and soil relationships: A modern synthesis. **New York: McGraw-Hill**, 1969. 482 p.

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

MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. A. **Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas**. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009

MALIK, S.S. & Tomer, B.S. (2003) – Sugarcane varietal performance under high water-logging conditions. **Indian Sugar**, vol. 53, n. 8, p. 585-588

MINGOTI, Rafael et al. Dimensionamento econômico de profundidades e espaçamentos de drenos para a produção de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 535-540, 2006.

OTTO, R.; FRANCO, H.C.J.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. **Fitomassa de raízes e da parte aérea da cana-de-açúcar relacionada à adubação nitrogenada de plantio**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.44, n.4, p.398-405, abr. 2009

PARAMASIVAM, C. R.; VENKATRAMANAN, S. An introduction to various spatial analysis techniques. **GIS and geostatistical techniques for groundwater science**, p. 23-30, 2019.

PAULA, A.L. **Desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar em ambiente protegido sob diferentes níveis freáticos**. 2008. 149p. Tese (Doutorado na área de Engenharia Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SÁ, J.S.; CRUCIANI, D.E.; MINAMI, K. Efeitos de inundações temporárias do solo em plantas de ervilha. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.50-54, jan-mar 2004

SOUZA, Kelly Tagianne Santos de. **Sensibilidade da primeira soca da cana-de-açúcar ao excesso de água no solo**. 2010. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de

Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. doi:10.11606/T.11.2011.tde-17032011-150335. Acesso em: 2022-11-30

TAVARES, A.C.S.; Duarte, S.N.; Dias, N.S.; Sá, F.V.D.S.; de Miranda, J.H.; Fernandes, C.S. **Produção e maturação de cana-de-açúcar submetida a encharcamento em diferentes estádios de desenvolvimento.** IRRIGA 2017, 22, 154–166