

ACOMPANHAMENTO DE ÁREAS DE CULTIVO DE TRIGO PARA VALIDAÇÃO DE FERRAMENTA DE SENSORIAMENTO REMOTO

CARAFFA, Marcos*, SETREM. Três de Maio, RS, Brasil.

DANIELOWSKI, Rodrigo, SETREM. Três de Maio, RS, Brasil.

MORAES, Cléia dos Santos, SETREM. Três de Maio, RS, Brasil.

LIMA, Jesildo Moura de, Inplan Assessoria Ltda. Três de Maio, RS,
Brasil.

SAUSEN, Matheus César, Inplan Assessoria Ltda. Três de Maio, RS,
Brasil.

Autor para correspondencia: garrafa@setrem.com.br

RESUMEN

Este trabalho apresenta os resultados do acompanhamento de sete lavouras de trigo no noroeste do Rio Grande do Sul, com o objetivo de validar e calibrar os dados de rendimento de grãos gerados pelo Sistema Sensorsat®, por meio da correlação com medições a campo. As áreas foram selecionadas conforme critérios de manejo, características edafoclimáticas e disponibilidade hídrica. Foram definidos três pontos de amostragem por gleba, nos quais foram avaliadas variáveis como densidade de plantas, índice de vegetação (NDVI), cobertura do solo, densidade de espigas, massa de mil grãos e rendimento estimado. Os dados foram obtidos com o uso de tecnologias como o Green Seeker e o aplicativo Canopeo, e comparados com NDVI proveniente de imagens de satélite. As análises estatísticas demonstraram alta correlação entre o NDVI de campo e via satélite ($r = 0,964$), assim como entre esses índices e a cobertura do solo ($r > 0,97$), validando o uso do sensoriamento remoto para monitoramento do desenvolvimento da cultura. As variáveis agrônômicas também apresentaram correlação significativa com o rendimento de grãos estimado, destacando-se a densidade de plantas, o peso do hectolitro e a massa de mil grãos. A exclusão de duas áreas com dados inconsistentes melhorou os resultados das correlações. Os achados evidenciam a confiabilidade do sistema Sensorsat® na estimativa de produtividade, reforçando sua aplicabilidade como ferramenta de apoio à agricultura de precisão e à tomada de decisões técnicas nas unidades de produção agrícola.

Palabras clave: Trigo; NDVI; Sensoriamento remoto; Rendimiento de grãos.

MONITOREO DE ÁREAS DE CULTIVO DE TRIGO PARA VALIDACIÓN DE HERRAMIENTA DE SENSORIAMENTO REMOTO

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados del monitoreo de siete campos de cultivo de trigo en el noroeste del estado de Rio Grande do Sul, Brasil, con el objetivo de validar y calibrar los datos de rendimiento de grano generados por el sistema Sensorsat®, mediante la correlación con mediciones realizadas en campo. Las áreas fueron seleccionadas según criterios de manejo, características edafoclimáticas y disponibilidad hídrica. En cada gleba se definieron tres puntos de muestreo, donde se evaluaron variables como densidad de plantas, índice de vegetación (NDVI), cobertura del suelo, densidad de espigas, masa de mil granos y rendimiento estimado. Los datos se obtuvieron con tecnologías como el Green Seeker y la aplicación Canopeo, y fueron comparados con el NDVI proveniente de imágenes satelitales. Los análisis estadísticos mostraron alta correlación entre el NDVI de campo y por satélite ($r = 0,964$), así como entre estos índices y la cobertura del suelo ($r > 0,97$), validando el uso del monitoreo remoto para el seguimiento del desarrollo del cultivo. Las variables agronómicas también mostraron correlación significativa con el rendimiento estimado de granos, destacándose la densidad de plantas, el peso hectolítrico y la masa de mil granos. La exclusión de dos áreas con datos inconsistentes mejoró los resultados de las correlaciones. Los hallazgos confirman la confiabilidad del sistema Sensorsat® para la estimación de productividad, reforzando su aplicabilidad como herramienta de apoyo a la agricultura de precisión y a la toma de decisiones técnicas en las unidades de producción agrícola.

Palabras clave: Trigo; NDVI; Monitoreo remoto; Rendimiento de granos.

1 INTRODUCCIÓN

A evolução do setor primário brasileiro nesse milênio e, mais especificamente, na última década, não tem precedente histórico e, entre os diversos aspectos alvo de inovações, estão os avanços tecnológicos baseados no uso de imagens de satélites. Imagens multiespectrais geradas por satélites proporcionam a obtenção de informações que são transformadas em conhecimento aplicado às atividades agrícolas e pecuárias.

Nesse escopo é que a empresa Inplan Assessoria Ltda desenvolveu e passou a utilizar um sistema de informações que engloba a integração de dados com imagens geradas por satélites para impulsionar a eficiência das unidades de produção, o Sistema Sensorsat®.

O estudo aqui relatado objetivou gerar informações, a partir de dados coletados à campo em lavouras de trigo, no ano safras 2023, capazes de auxiliar na calibração dos dados relativos ao rendimento de grãos fornecidos pelo Sistema Sensorsat®.

Para tanto, a proposta inicial foi de se acompanhar dez lavouras de trigo implantadas na região tritícola 2 (moderadamente quente e úmida), mais especificamente na região fronteira noroeste do estado do Rio Grande do Sul, registrando diversos dados durante o ciclo da cultura.

As lavouras foram selecionadas com base no tipo de manejo utilizado (com aplicação de baixo, médio e alto nível de insumos), presença ou ausência de pedregosidade no solo e distância de mananciais d'água significativos. Assim, foram relacionadas para acompanhamento duas áreas de cultivo de trigo em Três de Maio (nas localidades de Quaraim e Consolata), duas em Independência (localidades de Lajeado Silva e Esquina Salete), duas em Alegria (localidades de Espírito Santo e Esquina Rolim), duas em Doutor Maurício Cardoso (localidades de Esquina Londero e Capela Santo Antônio), uma em Santo Cristo (Linha Divisa) e uma em Tuparendi (Esquina Progresso).

Em cada uma das glebas foram determinados três pontos de avaliação, nos quais foram aferidas a densidade inicial de plantas, o índice de estado de vegetação (NDVI), a cobertura do solo, densidade de espigas, massa de mil grãos e a estimativa de rendimento de grãos, além do peso médio do hectolitro.

Para cada uma das glebas foram consideradas as condições químicas do solo, a classe conforme a quantidade estimada de água disponível no solo, a adubação utilizada (de base e de cobertura) e a decorrente expectativa de produção, a cultivar, a data de semeadura e a da emergência plena.

Do conjunto das dez glebas projetadas para análise, três precisaram ser descartadas: a de Lajeado Silva e Esquina Salete, de Independência (a primeira pelo fato de o produtor ter retirado as estacas marcadoras dos pontos de análise e a segunda em virtude de o produtor ter colhido a área antes da efetuação da coleta dos dados finais) e a de Capela Santo Antônio, Doutor Maurício Cardoso (outra gleba em que o produtor retirou as estacas marcadoras dos pontos de análise na área). A alocação desses pontos será tratada com especificidade no item 2 do presente relato.

2 METODOLOGÍA

Uma vez definidas as áreas a serem avaliadas, foram coletados os dados relativos às condições físicas (composição de argila, sílica e areia – permitindo o estabelecimento da classe de água disponível no solo) e químicas (pH, teores de fósforo, potássio e matéria orgânica, CTC pH 7,0 e índice SMP) do solo, além da adubação de base e de cobertura a ser utilizada mais cultivos antecessores (com a finalidade de se projetar a expectativa de produção de trigo nas mesmas).

Informada a cultivar semeada, a data de semeadura e de emergência plena das glebas alvo da pesquisa, as mesmas foram visitadas para estabelecimento de três pontos de avaliação, o que foi efetuado por caminhamento nas áreas, definindo um ponto em um dos locais mais altos da gleba, um de altitude mediana e outro de menor altitude. Em cada um dos pontos foi colocada uma estaca (figura 1) e, tendo-a como centro, contado o

número de plantas em um metro de linha, transformando o resultado, a partir do espaçamento entre linhas de semeadura, em densidade inicial de plantas. Nessa ocasião também foram registradas as coordenadas geográficas de cada um dos pontos.

FIGURA 1 – Imagem dos pontos de coleta de dados



Por ocasião do estágio fenológico de perfilhamento foram avaliados, nos pontos demarcados em cada uma das áreas, o índice de estado de vegetação (NDVI) e o percentual de cobertura do solo.

A análise do NDVI foi efetuada com auxílio de um equipamento denominado Green Seeker, de marca Trimble, e para tanto, foram efetuadas três leituras: no ponto em que se encontrava a estaca (centro do metro determinado como amostra de análise), e na metade dos dois terços extremos da amostra. Após, foi efetuada a média aritmética das três medições, gerando o índice de estado de vegetação a ser utilizado para comparação com o NDVI gerado pela leitura de imagem de satélite.

Já, o percentual de cobertura de solo foi determinado com auxílio de um aplicativo em aparelho celular, denominado Canopeo (Patrignani, A. and Ochsner, T.E., 2015). Em cada ponto de leitura o celular foi colocado a aproximadamente um metro de distância do solo, focando, além da linha em análise, mais duas linhas a cada lado da mesma, gerando, assim, o dado relativo à cobertura percentual do solo por ocasião do momento da avaliação.

A última avaliação foi efetuada por ocasião da maturação de colheita do trigo nas glebas, sendo colhidos, tendo o ponto georreferenciado como referência central, dois metros de cinco linhas (a linha central do ponto de referência mais duas linhas de cada lado), amostra utilizada para efetuar a projeção da densidade de espigas, a massa de mil grão e a estimativa de rendimento de grãos em cada um dos pontos, além da média aritmética dessas variáveis. A densidade de espigas foi determinada considerando o número de espigas colhidas na amostra e o espaçamento de cultivo, gerando resultado expresso em número de espigas por metro quadrado. A determinação da massa de mil grãos foi efetuada no Laboratório de Sementes da SETREM e seguiu o padrão metodológico estabelecido por BRASIL (2009), na Regra de Análise de Sementes, contemplando oito amostras de cem grãos pesadas em balança de precisão de 0,0001 gramas, gerando como resultado a média aritmética das amostras. Já, o rendimento de grãos foi estabelecido por aferição, na mesma balança de precisão, da massa dos grãos colhidos em cada amostra, corrigindo a umidade da mesma para 13 %.

Do conjunto de grãos gerados nos três pontos de análise foi estabelecido, com uso do equipamento denominado AL 101, o peso do hectolitro (PH).

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A identificação da localização das glebas analisadas (proprietários, localidade e município em que se encontram, além das coordenadas geográficas dos pontos de avaliação) assim como a cultivar semeada, sua data de semeadura e emergência plena, encontram-se demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1. Relação dos proprietários rurais das áreas analisadas, coordenadas geográficas dos pontos de observação, cultivar semeada, data de semeadura e emergência plena do projeto INPLAN-SETREM, 2023.

PRODUTORES RURAIS	PONTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	CULTIVAR	DATA SEM.	E. P.
Pedrinho Szarek (Quaraím - Três de Maio)	Ponto a:	27°7834955S 54°31771639W	T Bfo Audaz	08/jun	18/jun
	Ponto b:	27°78396487S 54°31709855W			
	Ponto c:	27°78443159S 54°31674218W			
Reneu Weide (Esquina Progresso - Tuparendi)	Ponto a:	27°75206626S 54°49930016W	T Bfo Audaz	06/jun	16/jun
	Ponto b:	27°7563455S 54°49927615W			
	Ponto c:	27°75268346S 54°49934403W			
Marcelo Dallavedhia (Consolata - Três de Maio)	Ponto a:	27°7440185S 54°31220979W	ORS Feroz	02/jun	12/jun
	Ponto b:	27°7440185S 54°31220979W			
	Ponto c:	27°8467866S 54°4295972W			
Elton Froelich (Linha Divisa - Santo Cristo)	Ponto a:	27°84234484S 54°62865776W	T Bfo Aton	08/jun	20/jun
	Ponto b:	27°84265991S 54°62869893W			
	Ponto c:	27°84292485S 54°62889069W			
Leonardo Roberti (Esquina Londero - Dr. Maurício Cardoso)	Ponto a:	27°45044571S 54°39467354W	T Bfo Aton	12/jun	16/jun
	Ponto b:	27°45017350S 54°39493923W			
	Ponto c:	27°45018891S 54°39527128W			
Nilton Elvino Braum (Espírito Santo - Alegria)	Ponto a:	27°79119146S 54°03066701W	T Bfo Astro	08/jun	17/jun
	Ponto b:	27°79105233S 54°03090755W			
	Ponto c:	27°7913183S 54°0312459W			
Cléo Vísneski (Esquina Rolim - Alegria)	Ponto a:	27°84410426S 54°04541135W	ORS Guardião	06/jun	15/jun
	Ponto b:	27°84437181S 54°04521966W			
	Ponto c:	27°84467452S 54°0450055W			

Conforme se pode observar na Tabela 1, o conjunto das sete áreas em análise contemplou o uso de cinco materiais genéticos, sendo a semeadura realizada entre os dias 02 e 12 de junho, relativamente mais tardiamente do que o costumeiramente praticado na região, fato decorrido do excesso de chuvas no período que antecedeu essas semeaduras (segundo dados da Área Experimental da SETREM, constantes no Anexo A, foram 146 mm de pluviosidade no mês de maio, concentrados no primeiro e terceiro decêndio com, respectivamente, 107 e 39 mm). No primeiro decêndio de junho, segundo

a mesma fonte, não ocorreu precipitação pluvial, favorecendo o estabelecimento da cultura do trigo.

3.1 SOLOS E ADUBAÇÕES

Como o estudo previu em sua origem a efetuação de estimativa de produção, entendeu-se inicialmente ser necessária a determinação da expectativa de produção por ocasião da colheita, dado que varia em função das adubações efetuadas (tanto na linha de cultivo quanto em cobertura), variável dependente dos teores de matéria orgânica, fósforo e potássio no solo, além da cultura antecessora.

Em consonância com o exposto, a Tabela 2 apresenta informações constantes nas análises químicas de solo das áreas, as culturas antecessoras ao trigo, as adubações de base e de cobertura praticadas e as expectativas de produção delas originárias, além das classes de água disponível no solo (informações decorrentes das análises físicas do solo, constantes nos anexos B, C, D, E, F, G e H).

Tabela 2. Características dos solos das áreas em análise no projeto de avaliação de lavouras de trigo do projeto INPLAN - SETREM, 2023.

PRODUTORES / CARACTERÍSTICAS SOLO	Pedrinho Szarecki	Renê Weide	Dallavechi a	Elton Froelich	Leonardo Roberti	Elvio Braum	Cléo Visneski
Matéria orgânica (%)	3,6	2,8	3,6	3,1	2,7	2,4	3,5
P ₂ O ₅ (mg L ⁻¹)	7,1	23,3	27,5	9,3	8,5	8,0	12,7
K ₂ O (mg L ⁻¹)	120	144	296	267,6	244	208	228
CTC pH _{7,0} (Cmol _c L ⁻¹)	15,8	15,3	16,0	14,0	17,6	20,4	14,2
Índice SMP	5,7	6,1	6,3	6,1	6,3	6,2	5,8
Cultura antecessora (sucessão)	milho/soja	soja	soja/milho	milho/soja	milho/soja	milho/soja	milho/soja
Cultura antecessora (rotação)	aveia	trigo	trigo	trigo	trigo	trigo	trigo
Adubação de base (fórmula)	10-20-20	03-22-21	05-20-20	08-16-24	13-24-12	05-20-20	10-30-20
Adubação de base (quantidade)	250	150	300	180	275	250	250
Adubação de cobertura (fórmula)	45-00-00	45-00-00	45-00-00	45-00-00	nihil	45-00-00	45-00-00
Adubação de cobertura (quant.)	200	100	200	90	0	200	135
Total de N aplicado	115	49,5	105	54,9	35,75	102,5	85,75
Expectativa produção gerada	3330 (P)	3.500 (N e P)	4.500 (N)	1920 (P)	3.300 (K)	3.000 (P)	5.000 (s/lím.)
Classe de água dispon. no solo	AD 5	AD 6	AD 5	AD 5	AD 5	AD 5	AD 5

A expectativa de produção explicitada na Tabela 2 apresenta, além do valor previsto para rendimento de grãos, expresso em quilograma por hectare, qual o nutriente apresentou-se como seu limitador em função da interpretação da análise do solo (nitrogênio – N, fósforo – P ou potássio – K).

O sistema de produção da maioria das áreas (cinco das sete em estudo) expressa uma situação cada vez mais presente nas propriedades rurais da

região noroeste do estado do Rio Grande do Sul, qual seja, o cultivo de milho, semeado em julho ou agosto, sucedido de soja, semeada em janeiro, para posterior semeadura de trigo em maio ou junho. Uma das áreas mantém o tradicional sistema de sucessão de culturas trigo-soja e a outra, após a soja cultivou milho para silagem.

A variabilidade de adubações de base, tanto em termos de fórmulas quanto de quantidades de nutrientes fornecidos ao trigo, é bastante significativa, sendo notória a preocupação em disponibilizar nitrogênio por aplicação em cobertura, em que pese uma das áreas não ter recebido essa adubação e, em contrapartida, ter recebido o maior aporte de nitrogênio por ocasião da adubação de base.

Analizando as adubações praticadas e correlacionando as mesmas aos resultados das análises químicas de solo, apenas uma das glebas recebeu adubação sem limitação dos macronutrientes básicos (N – P₂O₅ – K₂O) para a expectativa de produção (5.000 kg ha⁻¹, podendo ser considerada muito alta para os padrões regionais), três tiveram o elemento fósforo como limitante à expectativa de produção, uma o potássio, uma o nitrogênio e outra o nitrogênio e o fósforo em iguais teores.

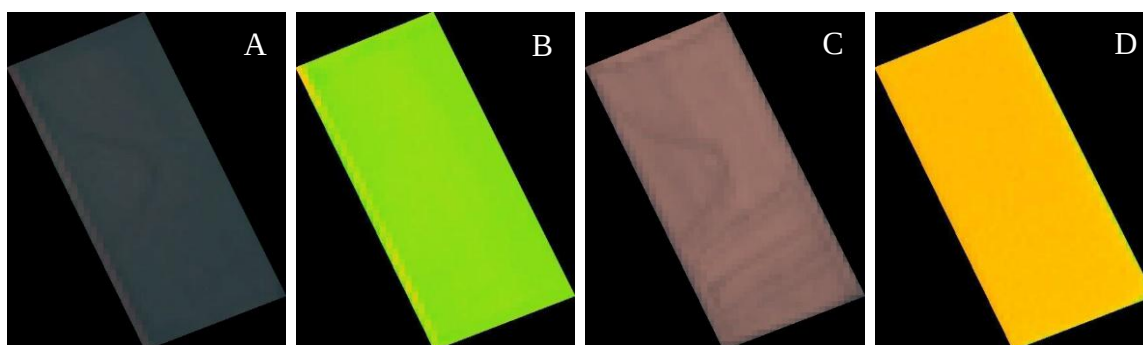
Quanto a classe de água disponível no solo, parâmetro importante sob muitos aspectos, inclusive para o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), seis áreas apresentam AD5 e uma AD6, portanto, todas com ótima capacidade de armazenamento de água quando consideradas as proporções de argila, silte e areia.

3.2 DADOS DO DOSSEL

O Sistema Sensorsat® é capaz de gerar muitos dados relativos às lavouras observadas e, entre esses, está o índice de estado de vegetação

(NDVI), informação a ser calibrada a partir dos dados aferidos no presente estudo. Na figura 2 são apresentadas imagens obtidas pelo satélite em diferentes momentos do ciclo de desenvolvimento de uma das lavouras monitoradas. Na figura 2 é apresentado o histórico do NDVI da área de interesse ao longo do ciclo da cultura.

FIGURA 2 – Análise da evolução da cobertura vegetal: comparação de imagens de Cores Verdadeiras e NDVI em diferentes momentos do ciclo da cultura, INPLAN_SETREM, 2023



Legenda: A= Imagem true color 07/07/2023; B= NDVI 04/07/2023; C= Imagem true color 11/11/2023; D= NDVI 11/11/2023.

A partir das imagens obtidas via satélite do sistema Sensorsat® foi possível elaborar a tabela 3 em que se apresentam os índices de NDVI coletados, via sistema e em campo com auxílio do Green seeker.

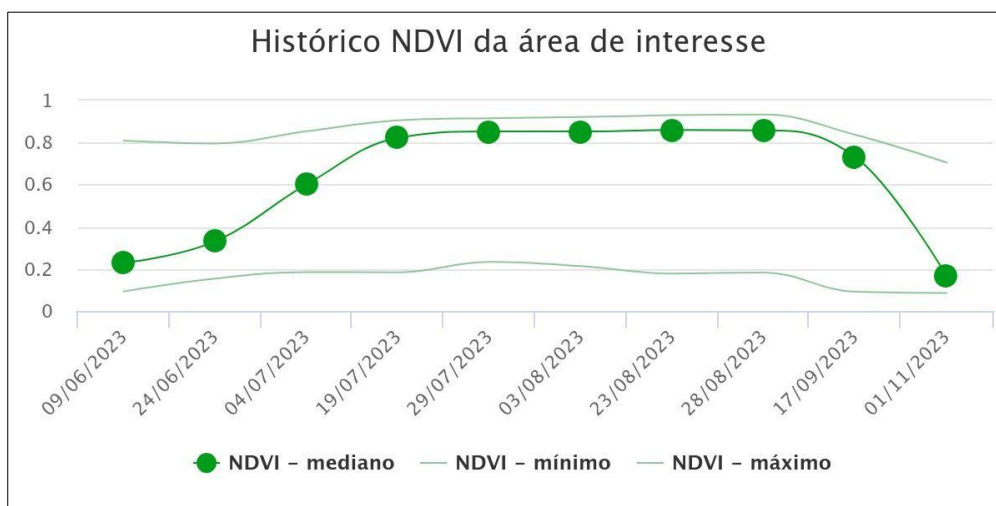


FIGURA 2 – Histórico NDVI da área de interesse INPLAN-SETREM, 2023.

Nos dias 17 e 18 de julho do ano de 2023 foram efetuadas leituras do índice de estado de vegetação (NDVI), pelo equipamento Greem seeker, e o percentual de cobertura do solo, pelo aplicativo Canopeo, nas glebas em análise. Esses dados, coletados nos três pontos de análise de cada gleba, bem como suas médias e a leitura do índice de estado de vegetação aferido via satélite em 19 de julho, 19 de setembro e 02 de outubro do mesmo ano estão explicitados na Tabela 3.

Os índices de estado de vegetação aferidos pelo Greem seeker e por satélite serão alvo de análise correlacional no item 7 do presente estudo, assim como essas duas variáveis e o percentual de cobertura do solo aferido.

As significativas variações do NDVI médio (de 0,42 a 0,82) e de cobertura do solo (de 42,43 % a 90,42 %), conforme aferido a campo, serão analisadas no item 7, mas, de antemão, parecem ter ocorrido em virtude da densidade inicial de plantas (dado a ser apresentado no item 6) e das variáveis doses de nitrogênio (de 35,75 kg ha⁻¹ a 115 kg ha⁻¹) e de seu manejo.

Tabela 3. Relação dos produtores rurais, datas de semeadura e de leitura dos dados, leituras de NDVI (por green seeker e por satélite) e índice de cobertura do solo das áreas analisadas no projeto INPLAN-SETREM, 2023.

PRODUTORES RURAIS	Data semeadura	Data da leitura a campo	Ponto de análise	NDVI <i>Greem Seeker</i>	NDVI Médio	NDVI Satélite 19/07	NDVI Satélite 17/09	NDVI Satélite 02/10	Cobertura solo (%)	Cobertura média (%)
Pedrinho Szareski	08/jun	18/jul	Ponto a:	0,53					56,57	
			Ponto b:	0,35	0,42	0,68	0,81	0,49	27,93	42,43
			Ponto c:	0,39					42,80	
Reneu Weide	06/jun	18/jul	Ponto a:	0,67					70,79	
			Ponto b:	0,60	0,62	0,79	0,71	0,36	68,91	66,59
			Ponto c:	0,59					60,08	
Marcelo Dallavechia	02/jun	18/jul	Ponto a:	0,81					90,59	
			Ponto b:	0,82	0,82	0,89	0,75	0,33	91,12	90,42
			Ponto c:	0,82					89,54	
Elton Froelich	08/jun	18/jul	Ponto a:	0,72					79,56	
			Ponto b:	0,54	0,62	0,82	0,73	0,38	59,64	69,77
			Ponto c:	0,59					70,10	
Leonardo Roberti	12/jun	17/jul	Ponto a:	0,66					70,98	
			Ponto b:	0,71	0,68	0,72	0,65	0,31	74,53	74,36
			Ponto c:	0,68					77,57	
Nilton Elvio Braum	08/jun	18/jul	Ponto a:	0,69					68,06	
			Ponto b:	0,57	0,63	0,78	0,77	0,40	61,37	63,95
			Ponto c:	0,63					62,42	
Cléo Visneski	06/jun	18/jul	Ponto a:	0,80					86,33	
			Ponto b:	0,73	0,76	0,86	0,75	0,38	75,96	79,53
			Ponto c:	0,74					76,30	

3.3 COMPONENTES DE RENDIMENTO E RENDIMENTO DE GRÃOS

Outro dado importante a se buscar calibração das informações geradas pelo Sistema Sensorsat® é a estimativa de rendimento de grão das lavouras.

Os componentes de rendimento e o rendimento de grãos aferidos nas áreas em estudo estão explicitados na Tabela 4.

A densidade inicial de plantas, a densidade de espigas, a massa de mil

Tabela 4. Densidade inicial de plantas (DIP), densidade de espigas (DE), massa de mil grãos (MMG), peso do hectolitro (PH), rendimento de grãos (RG) estimado e real das lavouras de trigo acompanhadas no projeto INPLAN -SETREM, 2023.

PRODUTORES / VARIÁVEL ANALISADA	Pedrinho Szarenski	Reneu Weide	Marcelo Dallavechia	Elton Froelich	Leonardo Roberti	Nilton Elvio Braum	Cléo Visneski
DIP ponto a (pl m ⁻²)	257	387	352	240	206	538	333
DIP ponto b (pl m ⁻²)	249	334	358	235	224	321	362
DIP ponto c (pl m ⁻²)	249	383	373	226	232	357	331
DIP média (pl m ⁻²)	252	368	361	234	221	405	342
DE ponto a (esp. m ⁻²)	312	370	441	394	376	476	329
DE ponto b (esp. m ⁻²)	529	365	347	388	476	435	359
DE ponto c (esp. m ⁻²)	318	370	394	376	612	488	394
DE média (esp. m ⁻²)	386	368	394	386	488	466	361
MMG ponto a (g)	25,5	29,7	33,2	33,0	21,0	36,2	41,6
MMG ponto b (g)	26,4	28,0	32,0	32,3	23,5	38,0	45,5
MMG ponto c (g)	24,7	28,4	30,5	33,2	22,1	35,7	46,6
MMG média (g)	25,5	28,7	31,9	32,8	22,2	36,6	44,6
PH médio (kg hL ⁻¹)	62,0	67,5	78,0	65,3	41,5	78,0	67,7
RG estimado ponto a (kg ha ⁻¹)	1.298	2.649	2.336	1.808	612	3.050	2.810
RG estimado ponto b (kg ha ⁻¹)	1.411	1.906	2.743	1.584	570	2.518	2.484
RG estimado ponto c (kg ha ⁻¹)	1.521	1.752	2.171	1.762	876	2.954	2.719
RG estimado média (kg ha ⁻¹)	1.410	2.102	2.417	1.718	686	2.841	2.671
RG real (kg ha ⁻¹)	1.369	2.680	1.200	2.340	1.440	2.400	2.880

grãos e o rendimento de grãos estimado estão apresentados separadamente por ponto de análise bem como pelas expressões médias. Já, o peso do hectolitro e o rendimento de grãos efetivamente gerado nas glebas analisadas estão apresentados um dado único para cada gleba, sendo que esse último dado não teve aferição, sendo originário de informação dos proprietários das glebas.

De forma geral, a densidade inicial de plantas variou de 221 a 405 plantas por metro quadrado, em média. Considerando que a recomendação de cultivo é de 250 a 330 plantas por metro quadrado para cultivares de ciclo médio e precoces (Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e

Triticale, 2023), duas das setes glebas analisadas apresentaram déficit populacional. Cabe salientar que semeaduras tardias em anos com temperaturas médias altas, como foi o ano safra de trigo 2023, requererem densidades maiores em virtude do menor perfilhamento.

A densidade média de espigas variou de 368 a 488 espigas por metro quadrado, salientando-se que em apenas duas glebas foi ultrapassada a marca de 400 espigas por metro quadrado, uma com 466 e outra com 488 espigas por metro quadrado. Analisando essas duas glebas, a primeira apresentou PH de $78,0 \text{ kg hL}^{-1}$ e a segunda de $41,5 \text{ kg hL}^{-1}$, o que decorreu em rendimentos de grãos completamente diferentes, com o esperado perfazendo, respectivamente, 2.841 kg ha^{-1} e 686 kg ha^{-1} e o real, 2.400 kg ha^{-1} e 1.440 kg ha^{-1} .

Apenas duas das glebas geraram produto capaz de ser considerado trigo, ambas com PH $78,0 \text{ kg hL}^{-1}$, sendo que uma delas, mesmo com densidade média de 361 plantas por metro quadrado e densidade média de espigas de 394 por metro quadrado gerou colheita real de parques 1.200 kg ha^{-1} (com estimativa média de 2.417 kg ha^{-1}). Cabe salientar que o produtor ao ser questionado sobre esse baixo rendimento informou não ter segregado os dados de colheita conforme as glebas, sendo o rendimento informado a média colhida nas diversas glebas da propriedade, em que pese a gleba em análise ter sido a de melhor desempenho.

3.4 CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS ANALISADAS

O estudo de correlações permite identificar o sentido e significância de associações entre características. O coeficiente de correlação linear de Pearson está entre os coeficientes mais utilizados em pesquisas de diversas

áreas de conhecimento, tendo como principal vantagem a obtenção de um único valor (correlação) para cada par de variável analisada.

Para esta análise foram utilizados os dados obtidos com a análise do solo, avaliações de NDVI com o equipamento Green seeker, NDVI obtido por imagem de satélite, cobertura do solo (Canopeo) e informações de componentes de rendimento. No total foram utilizados dados obtidos nas sete propriedades participantes do projeto. Tanto para as leituras de NDVI a campo como dos componentes de rendimentos e rendimento de grãos com três repetições, foi utilizado o valor médio das leituras para a obtenção dos coeficientes de correlação.

As análises correlacionais das variáveis consideradas estão demonstradas na Tabela 5.

Tabela 5. Coeficientes de correlação de Pearson entre as características avaliadas das lavouras de trigo acompanhadas no projeto INPLAN – SETREM considerando todas as sete áreas validadas.

CARACTERES	Dens. Final	NDVI Green seeker	Cobertura (%)	Dens. Esp.	R.G. Estimado	PH	MMG	Água Disponível	R.G. Realizado	NDVI SAT
Dens. Final	1									
NDVI / Green seeker	0.377	1								
Cobertura (%)	0.258	0.910	1							
Dens. Esp.	-0.209	0.034	-0.282	1						
R.G. Estimado	0.887	0.385	0.425	-0.419	1					
PH	0.796	0.217	0.332	-0.469	0.907	1				
MMG	0.556	0.439	0.550	-0.440	0.838	0.614	1			
Água Disponível	0.333	-0.104	-0.148	-0.345	0.072	0.064	-0.183	1		
R.G. Realizado	0.407	0.087	0.153	-0.396	0.533	0.271	0.676	0.407	1	
NDVI SAT	0.490	0.820	0.945	-0.444	0.671	0.606	0.692	-0.030	0.307	1

Coeficientes de correlação destacados em negrito, são significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t, com n= 7, coeficiente de correlação crítico = 0.754

Das correlações, primeiramente destacam-se as obtidas entre as leituras de NDVI pelo equipamento portátil (Green seeker) e o obtido pela imagem de satélite $r= 0,820$ e ambas com a cobertura do solo $r= 0,910$ (Green seeker) e $r= 0,945$ (NDVI SAT), demonstrando uma forte associação entre estas características, validando os dados de satélite com as informações coletadas a campo.

Já, com relação aos componentes de rendimento e rendimento de grãos avaliados, os dados demonstram associação significativa entre a densidade final de plantas e o rendimento de grãos estimado ($r= 0,887$) e peso

hectolitro ($r = 0,796$). De forma semelhante, o rendimento de grãos estimado teve correlação positiva com o peso hectolitro ($r = 0,907$) e massa de mil grãos ($r = 0,838$). Em ambos os casos, correlações positivas e de alta magnitude entre as características destacadas são frequentemente relatadas em pesquisas com a cultura do trigo e já eram esperadas, o que proporciona maior confiabilidade das informações produzidas neste relatório. No entanto, as mesmas correlações não são detectadas quando se analisa o rendimento de grãos realizado, obtido pela colheita mecanizada da área.

Conforme já frisado no item 6 do presente relato, duas glebas analisadas apresentaram dissonância dos dados, uma por não ter efetuado aplicação de nitrogênio em cobertura (gerando baixíssimo PH) e outra por ter informado rendimento de grãos realizado considerando a média geral da propriedade e não da gleba em avaliação, a qual gerou a melhor produtividade no âmbito da propriedade. Assim posto, foi efetuada nova análise de correlação entre as variáveis em estudo considerando apenas cinco das sete áreas inicialmente validadas, resultado que se encontra explicitado na Tabela 6.

A tabela 6 indica que, descartados os dados das duas áreas com dissonância de informações de colheita efetiva e/ou manejo de cultura, há melhoria considerável nos resultados correlacionais efetuados.

Tabela 6. Coeficientes de correlação de Pearson entre as características avaliadas das lavouras de trigo acompanhadas no projeto INPLAN – SETREM considerando cinco áreas.

CARACTERES	Dens. Final	NDVI Green seeker	Cobertura (%)	Dens. Esp.	R.G. Estimado	PH	MMG	Água Disponível	R.G. Realizado	NDVI SAT
Dens. Final	1									
NDVI Green seeker	0,495	1								
Cobertura (%)	0,353	0,978	1							
Dens. Esp.	0,394	-0,149	-0,231	1						
R.G. Estimado	0,859	0,774	0,643	0,379	1					
PH	0,821	0,439	0,328	0,780	0,848	1				
MMG	0,400	0,884	0,809	0,007	0,795	0,451	1			
Água Disponível	0,359	0,050	0,088	-0,345	-0,042	-0,056	-0,374	1		
R.G. Realizado	0,575	0,955	0,952	-0,187	0,723	0,437	0,713	0,333	1	
NDVI SAT	0,282	0,964	0,997	-0,244	0,601	0,287	0,809	0,033	0,924	1

Coeficientes de correlação destacados em negrito, são significativos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste t, com $n = 5$. coeficiente de correlação crítico = 0,878

Inicialmente cabe frisar que novamente destacam-se, com significativo aumento, as correlações obtidas entre as leituras de NDVI pelo equipamento

portátil (Green seeker) e o obtido pela imagem de satélite $r= 0,964$ (em contrapartida à explicitada na Tabela 5, $r=0,820$) e ambas com a cobertura do solo $r=0,978$ (Green seeker) e $r=0,997$ (NDVI SAT), resultados novamente superiores aos anteriormente encontrados, os quais, respectivamente, foram de $r=0,910$ e $r= 0,945$. Esses resultados evidenciam ainda mais a forte associação entre estas características, validando os dados de satélite com as informações coletadas a campo.

Já, com relação aos componentes de rendimento e rendimento de grãos avaliados, os dados demonstram que a associação da densidade final de plantas com o rendimento de grãos estimado e com o peso do hectolitro, embora não apresentando significância em virtude do menor número de amostras, sofreram alteração mínimas, com resultados nessa segunda análise de, respectivamente $r=0,859$ e $r=0,821$, em contrapartida aos respectivos $r=0,887$ e $r= 0,796$ gerados na primeira. De forma semelhante, a correlação do rendimento de grãos com o peso do hectolitro e com a massa de mil grãos variou muito pouco, resultados, respectivamente de $r=0,848$ e $r=0,795$ na segunda análise, contra $r= 0,907$ e $r= 0,838$ gerados na primeira. Conforme o exposto, mesmo removendo da análise duas das áreas analisadas, não houve impacto negativo substancial nos resultados de correlação dessas variáveis.

Na análise apresentada na tabela, o rendimento de grãos realizado passou a se correlacionar positiva e significativamente, em altíssima magnitude, com o NDVI Green seeker, NDVI SAT e cobertura, resultados, respectivamente de $r=0,955$, $r=0,924$ e $r=0,952$.

Outra correlação que mudou de parâmetro de forma expressiva foi a aferida entre o NDVI Green seeker e a massa de mil grãos, a qual passou de $r=0,439$ para $r=0,884$.

Embora não gerando resultado significativo, em função do número de amostra, mas apresentando alta correlação também foram destacadas as

correlações entre o rendimento de grãos realizado e o rendimento de grãos estimado ($r=0,723$) e a massa de mil grãos ($r=0,713$); da massa de mil grãos com a cobertura e com o NDVI SAT (ambos com $r=0,809$) e com o rendimento de grãos estimado ($r=0,795$); do NDVI Green seeker com o rendimento de grãos estimado ($r=0,774$); e, finalmente, da densidade de espigas com o PH ($r=0,780$).

Conforme observado, com a remoção dos dados relativos às propriedades com informações dissonantes ocorreu melhoria substancial nas correlações entre as variáveis analisadas, consubstanciando ainda mais a interação entre diversas das variáveis analisadas.

4 CONCLUSIÓN

O presente estudo demonstrou a viabilidade técnica da validação de dados de sensoriamento remoto gerados pelo Sistema Sensorsat®, por meio do acompanhamento sistemático de lavouras de trigo com diferentes condições edafoclimáticas e manejos culturais. As correlações observadas entre os índices NDVI obtidos por sensoriamento proximal (Green Seeker) e por satélite, bem como sua associação com a cobertura do solo, evidenciam a consistência dos dados gerados e sua aplicabilidade no monitoramento do desenvolvimento da cultura.

As análises de componentes de rendimento, especialmente a densidade de plantas, densidade de espigas, massa de mil grãos e peso do hectolitro, evidenciaram relações significativas com os dados de sensoriamento e com os rendimentos estimados, validando o potencial do uso dessas variáveis como indicadores da produtividade em sistemas tritícolas.

Os resultados obtidos reforçam a importância da integração entre informações de campo e dados de sensoriamento remoto como estratégia para aprimorar a previsão de produtividade e a gestão das unidades

produtivas. Dessa forma, o uso de tecnologias como o Sensorsat® apresenta-se como ferramenta promissora no contexto da agricultura de precisão, contribuindo para a tomada de decisão técnica baseada em evidências agronômicas e ambientais.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Inplan pela oportunidade e pelo financiamento para a realização desta pesquisa que apresenta importantes contribuições para o desenvolvimento do setor agropecuário.

6 REFERENCIAS

ALBERTO, Marcus Henrique. **Índices de vegetação obtidos por RPA e redes neurais artificiais na determinação de áreas de produção de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2024. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2024

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de análise sanitária de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

FERNANDES, Pablo. **Estimativa da produtividade de milho (*Zea mays* L.) através de imagens multiespectrais obtidas por veículo aéreo não tripulado**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016

OLIVEIRA NETO, Deoclides de. **Índices de vegetação, rendimento de grãos e seus componentes em soja, em área com avaliação de agentes de controle biológico**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020

PATRIGNANI, Andres; OCHSNER, Tyson E. Canopeo: A powerful new tool for measuring fractional green canopy cover. **Agronomy journal**, v. 107, n. 6, p. 2312-2320, 2015.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 15. CUNHA, Rocca da Cunha; CAIERÃO, Eduardo (Ed. Téc.). **Informações técnicas para trigo e triticale: safra 2023**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2023.

SILVA, Sezar Augusto Abadi e. **Manejo da população de plantas na cultura do milho a partir do NDVI obtido por imagens de satélite**. 2018. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018