

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DE COMPUTAÇÃO

**Eduardo Malafronte Alves de Souza (NUSP: 16862798), Lucas Vinicius da Costa
(NUSP: 16885265) e Humberto Henrique de Amorim (NUSP: 16814612)**

**Plataforma “Clima-Adapt”: Análise Preditiva e Gestão de Risco para Eventos
Climáticos Extremos na Agricultura de Precisão**

São Carlos

2025

Índice

1. Introdução

1.1. O Cenário do Problema..... 3

1.2. A Motivação por Trás da Mudança..... 4

1.3. Soluções Existentes e Inovação..... 5

2. A Solução Proposta: A Plataforma "Clima-Adapt"

2.1. Funcionalidades..... 6

2.2. Questões Técnicas..... 6

2.3. Questões Organizacionais..... 7

2.4. Questões Humanas..... 8

2.5. Processos de Negócio..... 8

3. Processamento da Informação

3.1. Dados de Entrada..... 9

3.2. Processamento..... 10

3.3. Dados de Saída..... 11

4. Concorrência e Vantagem Competitiva

4.1. Análise das forças Competitivas de Porter no contexto da “Coop-Agro Resiliente” 12

4.2. A Vantagem Competitiva..... 13

5. Referências Bibliográficas..... 14

1.1. O Cenário do Problema

Vivemos em uma era de extremos. O clima do nosso planeta está mudando de forma acelerada, trazendo consigo uma frequência e intensidade de eventos climáticos nunca antes vistas. Para se ter uma ideia, entre 2000 e 2019, o mundo testemunhou 7.348 grandes catástrofes climáticas, que deixaram um rastro de perdas econômicas de quase 3 trilhões de dólares.

Essa nova realidade de instabilidade não é um problema distante; ela bate à porta de todos os setores da economia, forçando uma revisão completa de como gerenciamos nossos riscos e operações. O Brasil, com sua vasta geografia e diversidade climática, encontra-se em uma posição especialmente delicada, exposto aos caprichos de um clima em transformação. E essa vulnerabilidade tem um preço. No Rio Grande do Sul, por exemplo, um estado com forte vocação agrícola, foram mais de 5.200 eventos climáticos extremos registrados entre 2004 e 2024, alternando entre chuvas torrenciais (41,4%) e secas devastadoras (58,6%). O resultado é um prejuízo bilionário, que atinge em cheio o coração do agronegócio. Esse prejuízo bilionário não é apenas um número em uma planilha, ele se traduz em perda de safras inteiras, endividamento de produtores, aumento do preço dos alimentos para o consumidor final e, em casos extremos, no abandono da atividade agrícola.

A insuficiência das previsões genéricas se manifesta no dia a dia do campo de forma custosa. Uma previsão que aponta "possibilidade de pancadas de chuva à tarde" para um município de 500 km² é praticamente inútil para o gestor que precisa decidir se aplica ou não um defensivo caro em um talhão específico de 50 hectares. A chuva pode cair a 10 quilômetros de distância e não na sua lavoura, resultando em um dia de trabalho perdido e no momento ideal de aplicação desperdiçado. Assim como a mesma previsão pode levar o agricultor a não irrigar, contando com uma chuva que nunca chega ao seu talhão, resultando em estresse hídrico para a cultura e perda de produtividade. É essa a lacuna de precisão que gera o desperdício e o risco financeiro.

Segundo a Confederação Nacional das Seguradoras (CNSeg), de 2013 a 2023, os desastres naturais custaram ao país R\$ 639,4 bilhões, e mais da metade dessa conta (56%) foi paga pela agropecuária, o setor mais vulnerável de todos. É nesse cenário desafiador que encontramos nossa empresa-cliente, a "Coop-Agro Resiliente", uma grande cooperativa agrícola que sente fortemente a ameaça das chuvas extremas que alagam campos e provocam deslizamentos e das estiagens prolongadas que secam a terra e destroem safras.

Hoje, a cooperativa se apoia em previsões do tempo genéricas, aquelas que vemos em portais de notícias ou em aplicativos comuns. Elas dão uma noção geral, mas para a agricultura de precisão, que exige decisões tomadas no detalhe de cada pedaço de terra, são insuficientes. A falta de uma previsão específica para cada talhão leva ao desperdício de recursos preciosos como água e fertilizantes, a perdas de colheita que poderiam ser evitadas e a um risco financeiro que só cresce, alcançando uma falha fundamental nos sistemas de informação atuais.

O grande desafio é que as ferramentas de hoje não conseguem conversar entre si. Elas não são capazes de unir dados de fontes tão diferentes como satélites, sensores no

campo, radares e o conhecimento acumulado em anos de plantio, os quais são indispensáveis para sistemas complexos de análise preditiva, o que frequentemente resulta em dados com pouca precisão e qualidade, a qual deveria ser confiável, detalhada e que aponte para uma ação clara. É exatamente essa lacuna, um vazio entre a tecnologia disponível para sistemas de informação para a análise preditiva de eventos climáticos e a necessidade no campo, que a plataforma "Clima-Adapt" se propõe a preencher.

1.2. A Motivação por Trás da Mudança

É indispensável e urgente que os agricultores saiam de um modelo que reage a desastres para um que se antecipa a eles, usando a inteligência dos dados para mitigar riscos. As cenas de devastação no Rio Grande do Sul em 2024, com seus custos financeiros e humanos incalculáveis, são um lembrete doloroso da fragilidade dos métodos atuais. Nossa motivação é construir algo que vá além de proteger safras e equipamentos.

A ideia da "Clima-adapt" é criar uma ferramenta que fortaleça o agricultor, que construa uma barreira de resiliência econômica e ambiental para o futuro, garantindo que o agronegócio possa prosperar mesmo diante de um clima imprevisível e principalmente de forma mais sustentável. A justificativa do projeto é, portanto, estratégica e econômica. Para a "Coop-Agro Resiliente", dominar a informação climática não é um luxo, é uma questão de sobrevivência e de liderança de mercado em busca de vantagem competitiva.

A "Clima-Adapt" nasce como uma plataforma de inteligência, um sistema que usa o poder da Inteligência Artificial (IA) e da Internet das Coisas (IoT) para entregar previsões climáticas com um nível de detalhe cirúrgico, com o objetivo de pegar dados ambientais brutos e transformá-los em decisões inteligentes que aumentem a produtividade, cortem custos e, acima de tudo, tornem a cooperativa e seus membros mais fortes e preparados. Ao investir em uma solução como essa, a "Coop-Agro Resiliente" está se posicionando na vanguarda da inovação e da sustentabilidade no agronegócio, dando preferência à vacina em vez do remédio.

Além da resiliência econômica e ambiental, a motivação para a mudança é também a de preservar e potencializar o capital intelectual da cooperativa. Grande parte do sucesso agrícola se baseia na experiência acumulada por agrônomos e gerentes de fazenda que interpretam o tempo e a terra. Contudo, esse conhecimento é vulnerável e perecível; ele se aposenta, muda de empresa ou simplesmente se perde com o tempo.

A "Clima-Adapt" surge como uma ferramenta para capturar, validar e escalar essa expertise humana, transformando-a em um ativo sistêmico e duradouro. Ao cruzar a experiência histórica de manejo registrada pela cooperativa com os dados objetivos da plataforma, o sistema cria um cérebro institucional que aprende e evolui. A motivação, portanto, é garantir que o conhecimento valioso não dependa de indivíduos, mas que seja integrado à inteligência central da cooperativa, assegurando a continuidade e a excelência operacional para as futuras gerações.

1.3. Soluções existentes e Inovação

Para entender o valor da "Clima-Adapt", é importante olhar para as ferramentas que já estão no mercado. Hoje, no cenário de monitoramento climático, existem diversas soluções com diferentes forças e fraquezas.

Os sistemas públicos, como o Cemaden e o INMET, são pilares da segurança nacional, monitorando desastres em mais de 1.900 municípios e cobrindo 60% da população brasileira. Seu papel é indiscutivelmente vital. No entanto, eles foram criados com outro propósito. Seus alertas, emitidos em escala municipal, são como um mapa rodoviário para quem precisa de um GPS de rua: a escala é grande demais para as decisões de um agricultor que pensa em talhões, não em cidades. Além disso, a informação nem sempre chega a quem mais precisa no momento certo. O foco desses sistemas é, e deve ser, a proteção de vidas, não a otimização de uma colheita.

Do lado privado, o que não falta é aplicativo de tempo. Mais de 90% dos agricultores usam algum tipo de app para consultar a previsão. O problema é que a maioria deles, mesmo os pagos, funciona como um agregador de notícias: eles reúnem dados dos mesmos modelos globais (como GFS e ECMWF) e os apresentam em uma interface mais bonita, mas sem adicionar uma camada real de precisão para aquela fazenda específica. Eles mostram os dados, mas não os interpretam de forma profunda.

Dessa forma, a "Clima-Adapt" se diferencia de maneira fundamental. Não há agregação de dados, mas sim fundição. As soluções atuais colocam uma imagem de satélite ao lado de um gráfico de sensor de solo e deixam para o agricultor a tarefa de decifrar o que aquela combinação significa. A "Clima-Adapt", através de Inteligência Artificial, pega todas essas fontes de informação, entende suas interações complexas e cria um retrato único e coerente do microclima da fazenda. A plataforma não apenas mostra os dados; ela gera uma nova camada de inteligência, mais precisa e detalhada. Nosso diferencial não é ser um provedor de dados, mas sim um gerador de conhecimento, interpretando, dando alertas e soluções sob medida para a realidade da cooperativa.

A "Clima-Adapt" em relação às soluções existentes tem natureza dinâmica e auto aperfeiçoável. Aplicativos de tempo e portais de dados funcionam como uma via de mão única, entregando uma previsão estática, e o processo termina ali. A "Clima-Adapt", por sua vez, estabelece um ciclo de feedback contínuo. A plataforma não apenas prevê, ela mede o resultado. Ao prever 5mm de chuva para um talhão, seus próprios pluviômetros e sensores de umidade no local validam ou corrigem essa previsão. Cada acerto e cada erro é um novo dado de treinamento que alimenta e refina os modelos de IA em tempo real. Isso significa que a plataforma não oferece apenas uma previsão mais precisa hoje, mas garante que ela será ainda mais precisa amanhã. A inovação não é um produto finalizado, mas uma inteligência viva que aprende com a realidade da fazenda, tornando-se mais inteligente a cada dia, a cada safra e a cada evento climático.

2. A Solução Proposta: A Plataforma "Clima-Adapt"

2.1. Funcionalidades

A "Clima-Adapt" foi pensada como um sistema onde cada parte tem uma função clara, compondo uma solução completa que vai da coleta de dados no campo até a recomendação com facilidade.

A plataforma possui um Painel de Monitoramento em Tempo Real: um centro de comando para o clima da sua fazenda, possuindo mapas interativos e gráficos dinâmicos, nos quais o gestor pode ver, em tempo real, tudo o que importa: a umidade do solo medida por sensores, os dados da estação meteorológica local, as imagens de satélite e os radares de chuva, tudo em uma única tela. É a consciência situacional que permite agir rápido.

Também possui de forma integrada um motor de previsão preditiva, o qual gera previsões hiperlocais, com uma resolução de até 10 metros, baseado nos dados coletados pela plataforma e seu processamento, para as variáveis que realmente impactam a lavoura: chuva, temperatura, vento e radiação solar, com até 7 dias de antecedência. Mas não para por aí. O motor também olha para o cenário global, analisando fenômenos como El Niño e La Niña para dar uma resposta da estação, como a chance de uma seca prolongada, permitindo um planejamento de safra muito mais estratégico.

Através do motor preditivo, torna-se possível na plataforma um sistema de alerta precoce, totalmente personalizável, permitindo que a cooperativa seja capaz de criar seus próprios gatilhos para receber alertas sobre riscos específicos, como uma geada inesperada ou uma onda de calor, por exemplo. Os alertas são enviados por vários meios, como SMS, aplicativo, e-mail de maneira a garantir que a mensagem chegue a tempo de fazer a diferença.

Em um segundo momento, após os alertas, há a Otimização de Operações Agrícolas, em que a inteligência se transforma em ação, carregando consigo recomendações práticas de acordo com os respectivos avisos disponibilizados pela plataforma. Por exemplo: "Com base na previsão de chuva e na umidade atual do solo, irrigue o talhão X com 30% menos água hoje."

Além disso, a plataforma disponibiliza a Análise de Risco e Relatórios, a qual analisa o passado para otimizar o futuro. Ele gera relatórios de desempenho, projeta a produtividade da safra e consolida dados para atender às exigências de sustentabilidade (ESG).

2.2. Questões Técnicas

Na parte de hardware, para a coleta de dados, seria indispensável uma rede de dispositivos IoT espalhada pelas fazendas, como estações meteorológicas automáticas e sensores que medem a umidade e a temperatura do solo. Para uma visão de cima, drones com câmeras especiais farão voos periódicos para avaliar a saúde das plantas e as condições do solo com uma riqueza de detalhes incrível.

Agora, computacionalmente, toda a capacidade de processamento ficará na nuvem, significando que não há um grande gasto inicial e que o sistema pode crescer conforme a necessidade, sem limites para o armazenamento de dados e para o treinamento dos modelos de IA.

Quanto ao software, sua construção seguirá uma arquitetura baseada em microsserviços. Essa abordagem torna a plataforma muito mais flexível, tornando possível atualizar, corrigir ou ampliar partes específicas sem precisar interferir no conjunto todo.

Quanto ao fluxo de dados, a solução contará com um “pipeline organizado” para garantir que a informação seja bem tratada desde a sua origem até a sua análise final. Os dados brutos, como imagens de satélite, por exemplo, serão armazenados em um “data lake”, preparado para receber grandes quantidades de informações não estruturadas. Já os dados processados, organizados e prontos para gerar valor, ficarão em um “data warehouse”, para servir de base para as análises preditivas e relatórios estratégicos.

Entretanto, para garantir que fontes tão diversas de dados, como sensores, satélites e registros históricos consigam conversar entre si de forma coerente, a "Clima-Adapt" adotará o conceito de “Semantic Sensor Web” (SSW), uma camada de inteligência que dá contexto a cada informação captada. Além do valor em si (como 25°C), cada registro trará embutido o que aquela medida representa (temperatura do ar), onde foi coletada e de que forma. Esse detalhamento permite que diferentes sistemas entendam e interpretem corretamente os dados, o que é essencial para garantir a precisão das análises.

Por fim, para que a plataforma se integre de maneira fluida com os sistemas já utilizados pela cooperativa, como ERPs (Enterprise Resource Planning), será desenvolvido um conjunto de APIs (Interfaces de Programação de Aplicações), permitindo que a "Clima-Adapt" se conecte a outros sistemas com facilidade, ampliando sua utilidade e reforçando seu papel como o centro de inteligência operacional da cooperativa.

2.3. Questões Organizacionais

Tecnologia de ponta exige uma organização preparada para acompanhá-la. No caso da "Clima-Adapt", isso começa com os recursos necessários para tirar o projeto do papel. A cooperativa precisará realizar um investimento inicial que inclui a aquisição de hardware como sensores, drones e estações meteorológicas especificados acima, além da contratação da licença do software.

Para garantir que toda essa infraestrutura gere resultados concretos, será importante também formar uma equipe interna dedicada, composta por um cientista de dados e um especialista em TI. Esses profissionais terão o papel de traduzir os dados em decisões estratégicas, extraíndo o máximo de valor que a plataforma pode oferecer.

Entretanto, talvez o maior desafio não esteja na tecnologia, mas na cultura. A adoção da "Clima-Adapt" marca o início de uma mudança profunda na forma como a cooperativa pensa e age. Trata-se de uma transição de um modelo baseado em experiência e intuição para uma nova conceituação orientada por dados e análises. E

essa transformação cultural precisa ser liderada de maneira firme pela alta gestão, para que assim seja possível se espalhar por toda a organização, desde os agrônomos que estão no campo até os gerentes que tomam decisões no escritório.

Assim, a implementação será cuidadosamente planejada para minimizar problemas. O processo começará com um projeto teste em fazendas selecionadas, o que permitirá testar o sistema em um ambiente real, possibilitando melhorias. Esses primeiros casos também serão importantes para gerar confiança. Durante todo esse processo, o suporte técnico qualificado e os treinamentos contínuos serão essenciais para garantir que a mudança aconteça de forma bem-sucedida.

2.4. Questões Humanas

A chegada da "Clima-Adapt" vai transformar a rotina de muitas pessoas dentro da cooperativa, e é fundamental compreender bem esse impacto para que a transição aconteça de forma natural e agradável.

Para a diretoria, por exemplo, a plataforma servirá como um guia, possibilitando que decisões não sejam mais tomadas no escuro ou com base em previsões genéricas, mas com uma visão clara dos riscos e das oportunidades que o clima traz. Isso torna os investimentos mais seguros e fortalece o poder de negociação com seguradoras e grandes parceiros comerciais. A informação certa, na hora certa, pode fazer toda a diferença no planejamento estratégico da cooperativa.

No campo, a mudança também será muito presente. Para agrônomos, gerentes de fazenda e demais profissionais que lidam diretamente com a terra, a "Clima-Adapt" funciona como uma extensão da própria experiência. Ela não chega para substituir o conhecimento técnico de quem vive a lavoura todos os dias, mas sim para complementá-lo com dados precisos, previsões mais confiáveis e recomendações sob medida, com o intuito de reduzir a margem de erro e dar mais segurança para quem precisa decidir rápido diante de um clima cada vez mais imprevisível.

2.5. Processos de Negócio

A implementação da "Clima-Adapt" também vai transformar a forma como a cooperativa conduz seus processos. O planejamento de safra, por exemplo, deixará de seguir um roteiro fixo baseado em calendários antigos para se tornar algo muito mais dinâmico, que responde em tempo real às previsões climáticas de longo prazo a partir das análises da plataforma.

Da mesma forma, a gestão de insumos ganhará uma nova inteligência. Fertilizantes e defensivos não serão mais aplicados de maneira genérica, mas sim com precisão, levando em conta as reais necessidades de cada talhão e as condições climáticas previstas.

Já a gestão de risco passará por uma revolução. A cooperativa deixará de ser apenas uma compradora de seguros para assumir uma postura ativa, utilizando dados concretos para comprovar boas práticas agrícolas e, assim, negociar condições mais vantajosas com seguradoras.

Além dessas mudanças, surgirão novos processos importantes. Um deles será a gestão de inteligência climática, uma nova rotina em que os dados gerados pela plataforma serão analisados regularmente para orientar as operações do dia a dia. Outro ganho será a automação dos relatórios de sustentabilidade (ESG), com a "Clima-Adapt" organizando e apresentando essas informações de forma clara e eficiente. Isso não só facilita a prestação de contas, como também fortalece a imagem da cooperativa diante de parceiros, investidores e da sociedade, proporcionando uma mudança nos processos operacionais da cooperativa desde o nível operacional até o financeiro.

3. Processamento da Informação

3.1. Dados de Entrada

A força da "Clima-Adapt" começa na sua capacidade de acessar diversas fontes. Essa variedade é o que permite haver uma visão completa do que está acontecendo no contexto específico.

Matriz de Fontes de Dados da Plataforma “Clima-Adapt”

Categoria da Fonte	Fonte Específica	Tipo de Dado	Formato Comum	Resolução Espacial	Resolução Temporal
Dados Meteorológicos Públicos	Modelos CPTEC/INMET (GFS), Previsões Globais (ECMWF), Dados Climáticos Históricos	Temperatura, Precipitação, Vento, Umidade	GRIB, NetCDF	1 km – 30 km	6 – 12 horas
Sensoriamento Remoto	Satélites (Sentinel, Landsat), Radar Meteorológico (Doppler)	NDVI, Radiância, Refletividade, Umidade do Solo	GeoTIFF, HDF5	10 m – 30 m (Satélite) / 1 km (Radar)	1 – 5 dias (Satélite) / 10 min (Radar)
Sensores IoT em Campo	Estações Meteorológicas Automatizadas, Sensores de	Séries Temporais	JSON, CSV	Ponto específico (nível de talhão)	1 – 15 minutos

	Umidade/Temperatura do Solo, Pluviômetros Digitais	Numéricas			
Dados da Cooperativa	Registros Históricos de Produtividade por Talhão, Calendários de Plantio/Colheita, Dados de Operações (Irrigação, etc.)	Alfanumérico, tabelar	Banco de Dados SQL, XLS	Nível de talhão/fazenda	Sazonal / Anual

3.2. Processamento

O caminho que os dados percorrem dentro da "Clima-Adapt" é uma jornada de refinamento, dividida em etapas inteligentes para garantir que o resultado final seja o mais eficiente processamento possível.

Primeiramente, ocorre a ingestão e preenchimento inteligente de dados. Todos os dados brutos são despejados no "data lake", destinado ao "Clima-Adapt" na nuvem. Um dos maiores problemas dessa parte do processo é lidar com falhas. Sensores no campo podem parar de funcionar por motivos diversos, ou até mesmo ocorrer atraso na coleta dos dados. Simplesmente preencher esses buracos com a média não funciona para dados climáticos, pois se perde toda a dinâmica complexa do ambiente e, consequentemente, sua precisão e capacidade preditiva.

Para resolver isso, usamos uma técnica de IA de ponta denominada Rede Adversarial Generativa (GAN). Pense nela como um jogo entre um falsificador genial (o Gerador) e um detetive experiente (o Discriminador). O Gerador aprende com todos os dados históricos como as variáveis se relacionam (como o sol e a chuva afetam a umidade do solo, por exemplo). Quando um dado de um sensor some, o Gerador não inventa um número qualquer; ele cria um dado sintético que faz todo o sentido dentro daquele contexto, olhando para os dados dos satélites e de outros sensores próximos.

O Discriminador, por sua vez, tenta descobrir se o dado é real ou falso. Essa competição força o Gerador a ficar cada vez melhor, até que seus dados sintéticos sejam perfeitos. O resultado é um conjunto de dados completo e confiável, pronto para a próxima fase, atendendo ao requisito de manter a qualidade a todo custo.

Agora, com os dados limpos e completos, ocorre a fusão e harmonização de tais dados. Em um primeiro momento, uma fusão simples, juntando os dados do mesmo tipo para ter mais certeza. Por exemplo, combinamos as leituras de vários sensores de

umidade do solo de um mesmo terreno para ter uma média muito mais precisa daquela área. Logo após a fusão simples, ocorreria a fusão de atributos, cruzando informações de fontes diferentes para criar novos indicadores. Combinamos o índice de saúde da planta vindo do satélite (NDVI) com a umidade e a temperatura do solo para gerar um "índice de bem-estar da cultura", muito mais completo. No final, combinam-se os resultados de diferentes modelos de previsão para chegar a um veredito final mais confiável.

Por fim, a estratégia de processamento de dados que diferencia majoritariamente a plataforma ocorre através da unificação entre o aprendizado de máquina e os modelos baseados na física. Usar apenas Machine Learning (ML) é arriscado, pois ele pode se perder diante de um evento climático totalmente novo. Por outro lado, os modelos tradicionais de Previsão Numérica de Tempo (PNT), que usam equações da física, são pesados e muitas vezes erram na escala local. Dificuldades estas que abrem portas para a atuação de um motor híbrido para a análise dos dados, unindo as capacidades de Machine Learning e de Previsão Numérica de Tempo.

Utilizando-se de uma rede neural “Long Short-Term Memory” (LSTM), que é especialista em aprender padrões em séries de tempo, como dados climáticos. Com o treinamento da LSTM com uma grande quantidade de dados históricos, ela se torna uma expert nos padrões específicos daquela região. Ao mesmo tempo, integra-se um modelo PNT que tenha capacidade de entender a física da atmosfera. A previsão final da "Clima-Adapt" é uma combinação dos dois. A LSTM traz a precisão local, o funcionamento daquele lugar, enquanto o PNT garante que a previsão faça sentido do ponto de vista físico. Essa abordagem possibilita previsões que são muito precisas localmente e que, ao mesmo tempo, podem lidar com situações adversas.

3.3. Dados de Saída

A solução proporcionada pela "Clima-Adapt" transforma números complexos em soluções; os resultados do processamento dos dados de entrada são apresentados em formatos claros e funcionais para diferentes públicos.

A solução gera relatórios detalhados e dashboards interativos sobre a pegada de carbono. Dashboards visuais apresentam indicadores-chave de desempenho (KPIs), tendências históricas e comparações, facilitando o monitoramento de metas. Com base na análise dos dados, a plataforma também recomenda estratégias para a redução de emissões, otimização de recursos e sugestões para compensação de carbono.

Essas informações de saída impactam diretamente o cotidiano da organização, seus funcionários, clientes e parceiros. Para a empresa-cliente, fornecem a base para decisões mais sustentáveis e transparentes. Para os funcionários e gestores, os dados simplificam o acompanhamento de metas e engajam as equipes na cultura de redução de impacto. Por fim, para clientes e parceiros, a transparência sobre a pegada de carbono gera confiança e pode se tornar um diferencial competitivo, fortalecendo alianças estratégicas.

Além da própria pegada de carbono, a partir dos dados de entrada, o sistema gera como saída não só os avisos para medidas corretivas do carbono, solo ou pragas, mas proporciona soluções baseadas no refinamento dos dados coletados pela plataforma, de

maneira a proporcionar como saída do processamento dos dados de entrada a maneira mais adequada de lidar com os respectivos problemas.

4. Concorrência e Vantagem Competitiva

4.1. Análise das forças Competitivas de Porter no contexto da “Coop-Agro Resiliente”

Força Competitiva	Nível de Ameaça (para a Coop-Agro Resiliente)	Justificativa e Impacto da "Clima-Adapt"
Rivalidade entre Concorrentes	Alta	A rivalidade no agronegócio é acirrada. A "Clima-Adapt" oferece uma vantagem ao permitir que a cooperativa otimize o uso de insumos, reduza perdas por eventos climáticos e, consequentemente, tenha custos de produção menores e maior estabilidade na oferta, tornando-a mais competitiva.
Ameaça de Novos Entrantes	Média	A barreira de entrada no agronegócio pode ser alta (terra, maquinário). Ao adotar a "Clima-Adapt", a "Coop-Agro Resiliente" cria uma nova barreira baseada em inteligência de dados. Um novo concorrente não terá o mesmo nível de previsibilidade e otimização, tornando mais difícil competir em eficiência.
Ameaça de Produtos Substitutos	Alta	Produtos de outras regiões ou de concorrentes que não foram afetados por eventos climáticos podem substituir os da cooperativa. A "Clima-Adapt" reduz essa ameaça ao mitigar os riscos climáticos, garantindo maior consistência na produção e na entrega dos produtos da cooperativa.
Poder de Barganha dos Compradores	Alto	Grandes redes de supermercados e indústrias de alimentos têm alto poder de negociação. Com a "Clima-Adapt", a cooperativa pode usar dados para comprovar a qualidade e a sustentabilidade (ESG) de sua produção, agregando valor ao produto e fortalecendo sua posição nas negociações.
Poder de Barganha dos Fornecedores	Médio	Fornecedores de insumos (fertilizantes, defensivos) e seguros têm poder considerável. A "Clima-Adapt" diminui a dependência e o risco ao otimizar o uso desses insumos e permitir a negociação de apólices de seguro mais vantajosas,

		com base em uma gestão de risco comprovada por dados.
--	--	---

4.2. A Vantagem Competitiva

A verdadeira força da "Clima-Adapt" vai além da precisão e alcance a capacidade de se tornar o cérebro das operações da cooperativa. A vantagem é construída em etapas. Primeiro, vem o ganho rápido e visível na eficiência: menos água, menos fertilizante, menos perdas, menos insumos no geral, o que gera um retorno financeiro que paga o investimento.

Depois, entra em cena o ciclo virtuoso. Quanto mais a plataforma é usada, mais dados ela coleta, e mais inteligente ela fica. O produto melhora a cada novo usuário e a cada novo dia de uso, o que promove que, com o tempo, essa vantagem de dados se torne uma muralha competitiva.

Ao se integrar com todos os outros sistemas da cooperativa, a "Clima-Adapt" se torna indispensável. O custo para trocar de fornecedor seria altíssimo, afirmindo sua posição. Além disso, com dados de risco mais precisos, a cooperativa pode negociar seguros mais baratos e financiamentos melhores. Ela pode criar alianças estratégicas com fabricantes de máquinas para desenvolver tratores mais inteligentes ou com a indústria de alimentos para garantir um fornecimento mais estável, por exemplo. A cooperativa deixa de ser apenas uma produtora para se tornar o centro de um ecossistema agrícola inteligente por meio de uma análise preditiva mais apurada.

No fim das contas, a fúria crescente dos eventos climáticos extremos é uma ameaça real ao agronegócio brasileiro. Continuar apenas reagindo aos problemas com ferramentas genéricas não é mais uma opção viável. A plataforma "Clima-Adapt" abrange uma nova gestão através de inteligência de dados.

O grande desafio que nos propusemos a resolver tratava-se de como unir dados de fontes completamente diferentes sem perder a qualidade, desafio esse que a "Clima-Adapt" busca solucionar com uma arquitetura técnica inovadora somada ao uso de IA para preencher dados faltantes (GANs) e um motor de previsão que combina o aprendizado de máquina (LSTM) com a ciência da física (PNT), é o que nos torna únicos. Não basta apenas juntar dados, mas sim fundi-los e interpretá-los para criar uma visão do microclima que ninguém mais tem, gerando uma inteligência que leva à ação.

Para a "Coop-Agro Resiliente", a "Clima-Adapt" é um passaporte para o futuro. No curto prazo, ela se paga com a economia de recursos. No médio prazo, ela cria uma barreira de proteção contra a concorrência. E no longo prazo, ela transforma a cooperativa em um polo de inovação, pronta para liderar o caminho em direção a uma agricultura mais forte e sustentável e, principalmente, gerando vantagem competitiva.

O sucesso dessa jornada, contudo, não depende só da tecnologia. Exigirá liderança para guiar a mudança cultural, investimento para capacitar as pessoas e uma comunicação clara do valor que está sendo criado. Ao abraçar essa transformação, a "Coop-Agro Resiliente" estará assegurando estabilidade e longevidade operacional em um mundo que exige essas características.

5. Referências Bibliográficas

- Nexxant. "Ciclogênese explosiva: entenda o fenômeno e tecnologias usadas na previsão e monitoramento".
- DEE-SPGG. "Relatório Técnico | DEE-SPGG | ABRIL 2025 | Impactos socioeconômicos dos eventos climáticos extremos de 2024 no Rio Grande do Sul".
- GEE. "A inteligência artificial na transição climática".
- Conselho das Finanças Públicas. "Riscos orçamentais associados às alterações climáticas".
- i4sea. "Qual a melhor previsão do tempo?".
- meteoblue. "Precisão & Verificação dos nossos dados meteorológicos".
- Tempo.com. "Quão confiáveis são as previsões meteorológicas feitas com inteligência artificial?".
- meteoblue. "A mais alta precisão".
- Cemaden. "Cartilhas orientam sobre clima e emergências climáticas".
- Agência FAPESP. "Sistemas de alerta e planos para evitar desastres por chuvas extremas ainda são falhos, aponta estudo".
- Senado Notícias. "Monitoramento de desastres naturais já cobre 60% da população, afirma ministra".
- ABRHidro. "Sistemas de Alerta de Desastres Naturais: Uma Revisão da Literatura".
- Dialogando. "Clima e desastres naturais: conheça plataformas que disparam alertas em tempo real".
- INMET. "Notícias sobre monitoramento climático".
- Intersec. "Sistemas de alerta precoce para a resiliência às catástrofes".
- PreventionWeb. "Base de dados sobre desastres no Brasil: histórico e análise da vulnerabilidade e dos riscos".
- Blog da Engenharia. "Sistemas de Alerta Precoce para Desastres Naturais".
- Portela, V. G. B. "Desenvolvimento de uma metodologia para previsão de eventos climáticos extremos com o uso de modelos de aprendizado de máquina".
- Agência FAPESP. "Técnicas de inteligência artificial aprimoram previsão de condições oceânicas em áreas portuárias".
- Artaxo, P. "Inteligência Artificial (IA) e as Mudanças Climáticas Globais".
- CPTEC/INPE. "Guia Prático para Operacionalização do Gerenciamento de Riscos e Desastres".

Noronha, M. E., et al. "A VANTAGEM COMPETITIVA DAS EMPRESAS CLEANTECHS E O DESENVOLVIMENTO DE CAPACIDADES DINÂMICAS UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS".

Canvas Business Model. "Cleantech Solar Porter's Five Forces".

Multitécnica. "Agricultura de precisão: o que é, como funciona e quais os benefícios".

ASN Brasil. "Quais são os principais desafios da agricultura de precisão?".

Consórcio New Holland. "Quais as vantagens da agricultura de precisão?".

Torres, A. B. B. "Uma Arquitetura de Software para Detecção de Eventos em Redes de Sensores Sem Fio baseada em Fusão de Dados e Análise de Correlação".

Obladen, F. F. "Fusão de Dados em Redes de Sensores Sem Fio para Detecção de Anomalias em Ambientes de Cidades Inteligentes".

AeroEngenharia. "O que é Heterogeneidade em Sensoriamento?".

Pure Storage. "Are You Treating the Symptoms of Your VMware Challenges or Curing the Cause?".

Revista Brasileira de Meteorologia. "Assimilação de dados de radiância do satélite GOES-13 no sistema de assimilação de dados GSI/SMG".

Beneti, C. A. A. "Desenvolvimento de metodologia para previsão de curtíssimo prazo de tempestades severas".

Feicon. "Arquitetura em tempos de clima extremo: lições das enchentes no RS".

Costa, F. C. "Análise da relação entre a ocorrência de eventos climáticos extremos e desastres naturais no município de São Paulo".

Magro, R. B., et al. "Aplicação de redes neurais artificiais para previsão de enchentes no rio Itajaí-Açu em Blumenau, SC, Brasil".

Souza, A. P. "REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS À PREVISÃO DE INUNDAÇÃO".

Stensö, A. "Previsão de descargas elétricas atmosféricas na Amazônia utilizando redes neurais artificiais".

Amazon Web Services. "O que é uma rede adversária generativa (GAN)?".

Silva, N. R. "RAG-Impute: Imputação de Dados Climáticos Faltantes Utilizando Redes Adversariais Generativas e Recuperação por Aumento de Geração".

Agrosmart. "Transformação digital no agronegócio: desafios e oportunidades".

Embrapa. "Brasil precisa avançar na gestão de riscos climáticos na agricultura".

Clover CRM. "ROI: o que é e como calcular o retorno sobre o investimento".

Clover CRM. "Tecnologia no campo: como otimizar a gestão do agronegócio".

Plano Agro. "Sistema para fazendas: a revolução na gestão da propriedade rural".

Revista Cartográfica. "Sistema de Monitoramento e Observação Aérea (MOSA) para aplicações ambientais".

Knoop, P. A. "Uma Contribuição à Estruturação de Dados Geoespaciais para um Sistema de Informações Geográficas Municipal".

Revista Brasileira de Cartografia. "Fusão de Dados HSI, UHR e LiDAR para Caracterização do Ambiente Urbano".

Análise do documento do projeto.

Análise da arquitetura de Redes Adversariais Generativas (GANs).

Análise do conceito de Semantic Sensor Web (SSW).

Análise da aplicação de GANs para criação de dados sintéticos.

Nota sobre uso de inteligência artificial: Nossa grupo achou valido o uso de inteligência artificial para realizar a pesquisa, principalmente dos termos técnicos para a tecnologia que foi pensada no “Clima-Adapt”, como Rede Adversarial Generativa (GAN), Previsão Numérica de Tempo (PNT), rede neural “Long Short-Term Memory (LSTM)” e as ferramentas que podem ser usadas no monitoramento de talhões, assim como a coleta das fontes, para a formatação das tabelas usadas ao longo do trabalho (3.1 e 4.1) e para a correção gramatical.

Link para o protótipo Figma:

<https://www.figma.com/proto/LzFIUG8aJ9n56Vhlw0YS2v/clima-adapt?node-id=0-1&t=kDdMrJVmwCHjZYHJ-1>