

Manual do Operador



IrrigAI
Irrigador Inteligente

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

Sumário

Sumário.....	2
Lista de Figuras.....	4
Lista de Tabelas.....	5
Siglas.....	6
1. Introdução.....	7
1.1. Informações Gerais do Equipamento.....	7
1.2. Termos de Garantia e Assistência Técnica.....	7
2. Segurança Operacional.....	7
2.1. Potenciais Riscos.....	8
2.2. Medidas Preventivas.....	8
2.3. Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) Recomendados.....	9
3. Descrição e Funcionalidades.....	9
3.1. Descrição Técnica do Equipamento.....	9
3.2. Sobre o Equipamento – IrrigAI.....	9
3.2.1. Componentes Principais.....	11
3.2.2. Modelos Disponíveis e Dimensões.....	12
3.2.3. Requisitos Operacionais e Desempenho do Sistema de Irrigação de Precisão com IA.....	13
3.2.4. Funcionalidades.....	14
3.3. Unidade de Irrigação.....	16
3.3.1. Fluxo de Água e Pressurização.....	17
3.3.2. Acumulador de Água (Garantia de Volume).....	17
3.3.3. Sistema de Compensação Longitudinal.....	18
3.3.4. Sistema de Compensação Transversal.....	19
3.4. AgroCam.....	20
3.4.1. Características Chave.....	20
3.4.2. Interface de Controle (IHM) – Acesso e Telas.....	21
4. Princípio de Funcionamento.....	21
4.1. Ciclo de Processamento e Sincronização.....	21
4.1.1. Captura e Aquisição (Módulo AgroCAM).....	21
4.1.1.1. Detalhes Técnicos para o Operador.....	21
4.1.2. Sequência de Ação e Lógica de Irrigação.....	22
4.1.3. Modo automático: Irrigação por Tempo (Sem Reconhecimento).....	22
4.1.4. Compensação Transversal (Correção de Linha).....	23
4.1.5. Sincronização Longitudinal (Acionamento Eletro-Hidráulico).....	23
4.1.6. Monitoramento e Registro.....	25
4.2. Descrição dos Modos de Operação.....	25
5. Operação do Sistema.....	25
5.1. Ligando o Sistema de Irrigação.....	25
5.2. Iniciando Irrigação.....	26
5.3. Ajustando o Sistema de Compensação Longitudinal.....	27
5.3.1. Objetivo da Calibração.....	27
5.3.2. Calibração de Volume de Água do IrrigAI.....	27
5.3.3. Lógica de Compensação (Tabela de Referência).....	31
5.3.3.1. Tabela de Referência de Calibração Avançada.....	31

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

5.4.	Ajustando a Velocidade de Movimentação dos Braços.....	34
5.5.	Instalação e Desinstalação do Implemento	35
5.5.1.	Instalação.....	35
5.5.2.	Ajuste do Braço do Módulo de Irrigação.....	36
5.5.3.	Desinstalação	39
5.6.	Sistema de Desarme dos Braços.....	40
6.	Interface Homem-Máquina (IHM) e Calibração Fina.....	41
6.1.	Tela de Configurações de Linha.....	41
6.1.1.	Visualização e Monitoramento (Operação Normal).....	42
6.1.2.	Configuração do Ciclo de Compensação (Ajuste dos Tempos).....	42
6.1.3.	Formato dos Comandos de Tempo	43
6.2.	Tempos Originais por Módulo	44
6.3.	Lista de Comandos.....	44
7.	Diagramas.....	45
7.1.	Diagrama Hidráulico Simplificado	45
7.2.	Diagrama Elétrico Simplificado	46
8.	Manutenção Preventiva.....	48
8.1.	Limpeza do Filtro de Água.....	48
8.2.	Revisão das Válvulas de Irrigação	49
8.3.	Manutenção Preventiva da Válvula de Água.....	49
8.3.1.	Desmontagem e Inspeção	50
8.3.2.	Limpeza	51
8.3.3.	Remontagem.....	51
8.4.	Verificação do Sistema Hidráulico	51
8.5.	Verificação dos Eixos Mecânicos	52
9.	Solução de Problemas	52
9.1.	Vazão Insuficiente (Pouca Água nas Válvulas)	52
9.2.	Falha de Aplicação (Não Sai Água).....	52
9.3.	Válvula de Água Não Fecha (Gotejamento).....	53
9.4.	Falha na Identificação das Mudanças.....	53
9.5.	Compensação Longitudinal Inoperante	54
9.6.	Volume de Água Aplicado Inconsistente	54
10.	Controle de Revisões.....	55
11.	Anexos.....	55

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

Lista de Figuras

Figura 1 - IrrigAI – Irrigador Inteligente (3 linhas), visão isométrica.....	10
Figura 2 - IrrigAI – Irrigador Inteligente (3 linhas), visão frontal.....	10
Figura 3 - Componentes do Irrigador de 3 linhas.....	11
Figura 4 - Modelo de 1 linha.....	12
Figura 5 - Modelo de 2 linhas.....	12
Figura 6 - Modelo de 3 linhas.....	13
Figura 7 - Módulo de irrigação: válvulas, acumulador e compensação.....	16
Figura 8 - Unidade de irrigação com detalhe para o acumulador de água.....	17
Figura 9 - Diagrama hidráulico do bloco de compensação longitudinal.....	18
Figura 10 - Compensação longitudinal.....	18
Figura 11 - Compensação transversal.....	19
Figura 12 - Componentes do sistema AgroCAM.....	20
Figura 13 - Lógica de identificação e correlação entre faixas transversais e abertura das válvulas.....	23
Figura 14 - Diagrama temporal do ciclo padrão de irrigação e compensação (variáveis e, f, g, h).....	24
Figura 15 - Painel de controle: comandos de modo, teste e movimentação dos braços. Dimensão 86mm x 205mm.....	26
Figura 16 - Bomba hidráulica.....	27
Figura 17 - Medida do movimento de compensação em 3km/h.....	30
Figura 18 - Localização da válvula de regulagem de vazão.....	33
Figura 19 - Válvula de regulagem de vazão.....	33
Figura 20 - Localização do bloco hidráulico de controle dos braços.....	34
Figura 21 - Localização da regulagem de vazão dos braços.....	34
Figura 22 - Trava da articulação dos pés.....	40
Figura 23 - Local correto para armazenagem dos pés.....	40
Figura 24 - Suspensão do módulo de irrigação com cintas.....	36
Figura 25 - Fixação do braço inferior.....	36
Figura 26 - Fixação do braço superior.....	37
Figura 27 - Movimentação para posição desejada.....	37
Figura 28 - Ajuste do braço inferior.....	38
Figura 29 - Ajuste do braço superior.....	38
Figura 30 - Módulo paralelo ao solo.....	39
Figura 31 - Configuração de ativação de linhas.....	41
Figura 32 - Visualização em operação (monitoramento das 3 linhas).....	42
Figura 33 - Configuração de tempos.....	43
Figura 34 - Diagrama hidráulico dos blocos.....	45
Figura 35 - Diagrama hidráulico dos cilindros dos braços.....	45
Figura 36 - Diagrama hidráulico dos cilindros de compensação.....	46
Figura 37 - Diagrama elétrico simplificado.....	46

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

Figura 38 - Distribuição dos módulos, válvulas e cilindros hidráulicos.....	47
Figura 39 - Vista geral superior com identificação dos componentes eletrônicos e de controle.....	47
Figura 40 - Elemento filtrante.....	48
Figura 41 - Localização das Válvulas de Água.....	49
Figura 42 - Abrir o parafuso superior da válvula e remover a bobina.....	50
Figura 43 - Embolo desrosqueado e removido.....	50
Figura 44 - Válvula montada.....	51

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Especificações Técnicas e Requisitos.....	14
Tabela 2 - Rendimento do Equipamento.....	14
Tabela 3 - Funcionalidades do sistema.....	15
Tabela 4 - Elementos chave da interface homem-máquina (IHM) do sistema AgroCAM.....	21
Tabela 5 - Sequência de ação e parâmetros de tempo do ciclo de irrigação.....	24
Tabela 6 - Parâmetros sugeridos para a variável 'g' em função da velocidade de operação.....	31
Tabela 7 - Tabela de referência de calibração avançada.....	32
Tabela 8 - Tempos originais por módulo.....	44
Tabela 9 - Lista de comandos.....	44

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

Siglas

Sigla	Significado	Contexto no Manual
ABNT NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas / Norma Brasileira	Padrões técnicos aplicáveis
AgroCAM	Nome comercial (ou interno) do sistema de Visão Computacional	SensorVision, Câmeras de identificação
bar	Bar	Unidade de pressão da água
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia	Referência ao responsável técnico no manual
cv	Cavalo-Vapor	Potência mínima do trator
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)	Coordenadas e Sincronização Longitudinal
ha/h	Hectares por Hora	Métrica de Desempenho Operacional
HD	High Definition (Alta Definição)	Qualidade das câmeras de identificação
IA	Inteligência Artificial	Identificação Precisa por Visão Computacional
IHM	Interface Homem-Máquina	Painel de controle na cabine
km/h	Quilômetros por Hora	Métrica de Velocidade de Deslocamento
l	Litros	Unidade de volume de água por planta
m ³ /h	Metros Cúbicos por Hora	Unidade de Vazão da Bomba de Água
ms	Milissegundos	Unidade de tempo para os comandos de calibração ('e', 'f', 'g', 'h')
NR 12	Norma Regulamentadora nº 12	Segurança no Trabalho com Máquinas e Equipamentos
PWM	Pulse-Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso)	Técnica de controle eletrônico (mencionado no contexto de engenharia)
v	Velocidade Linear	Velocidade do trator (Utilizada no cálculo de Compensação Longitudinal)
Δt	Delta Tempo	Tempo de pulso de abertura da válvula (Cálculo de Dose)
Δy	Delta Y (Desvio Longitudinal)	Variação da posição longitudinal da muda no campo de visão da câmera, crucial para calcular o momento exato do disparo

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

1. Introdução

O IrrigAI – Irrigador Inteligente é um implemento agrícola projetado para acoplamento na parte frontal do trator, permitindo a irrigação automatizada e precisa de diferentes tipos de mudas. O sistema integra visão computacional, controle eletrônico e acionamento hidráulico, possibilitando a detecção das plantas em tempo real e a liberação controlada de água conforme a necessidade de cada ponto. Essa tecnologia assegura eficiência no uso de recursos hídricos, uniformidade na irrigação e maior produtividade operacional nas atividades de campo.

Este manual tem como objetivo fornecer orientações detalhadas sobre instalação, operação e manutenção do equipamento, garantindo que qualquer operador, mesmo sem experiência prévia, consiga utilizá-lo corretamente e de forma segura.

1.1. Informações Gerais do Equipamento

Nesta seção são apresentadas informações essenciais do equipamento, incluindo versão, ano de fabricação, responsável técnico, contatos de suporte e normas aplicáveis. Essas informações são importantes para referência rápida durante a operação, manutenção e eventual comunicação com a assistência técnica.

1.2. Termos de Garantia e Assistência Técnica

Nesta seção são estão descritas as condições de garantia do equipamento, os procedimentos para acionamento do suporte e os canais de contato com a equipe técnica da Agricef.

Recomenda-se que todos os operadores estejam familiarizados com essas informações para garantir suporte eficiente e atendimento adequado em caso de necessidade.

2. Segurança Operacional

Esta seção tem como objetivo orientar o operador sobre os riscos potenciais durante a instalação, operação e manutenção do IrrigAI, bem como apresentar as medidas preventivas necessárias e os equipamentos de proteção individual (EPIs) recomendados.


Além disso, são detalhados avisos, sinais de alerta e etiquetas de segurança que devem ser observados para garantir a operação do equipamento de forma segura e eficiente, prevenindo acidentes e danos ao equipamento.

⚠ AVISO DE SEGURANÇA: O cumprimento destas regras é obrigatório para prevenir acidentes graves e danos ao equipamento. A segurança é de responsabilidade de todos os operadores.

2.1. Potenciais Riscos

- Atropelamento e Esmagamento: Risco durante o acoplamento ao trator, se houver pessoas na área entre os equipamentos.
- Colisão Lateral: Risco de impacto com obstáculos (postes, cercas, veículos) devido à largura total do implemento de 7 metros.
- Capotamento do Trator: Risco em terrenos irregulares, principalmente ao fazer curvas ou manobras bruscas com o implemento acoplado.
- Projeção de Objetos: Risco de lançamento de pedras, galhos ou terra durante a operação.
- Corte e Prensagem: Risco em partes móveis, articulações, mecanismos de levantamento e cilindros hidráulicos.
- Queimaduras ou Incêndio: Risco em caso de contato de mangueiras hidráulicas danificadas com superfícies quentes do trator.
- Queda de Componentes: Risco ao realizar manutenção ou ajustes sem o apoio (pés) e travamento adequado.
- Perda de Controle: Risco do conjunto trator-implemento devido à falha na fixação correta, pneu, freio ou sistema hidráulico.

2.2. Medidas Preventivas

- Acoplamento: Mantenha todas as pessoas afastadas da área durante o acoplamento e manobras.
- Verificação: Antes de operar, verifique se o implemento está em bom estado e acoplado ao trator corretamente, com todos os pinos e travas firmes (veja Seção 8).
- Consciência Dimensional: Mantenha distância segura de obstáculos laterais, lembrando sempre da largura total de 7 metros do implemento.
- Velocidade: Evite curvas fechadas em alta velocidade e manobras bruscas. Reduza a velocidade em terrenos irregulares para evitar capotamento.
- Transporte: Para deslocamento, utilize sempre o implemento com os BRAÇOS LATERAIS RECOLHIDOS. Em vias públicas, utilize sinalização e faixas refletivas.
- Parada Segura: Desligue o motor, retire a chave e acione o freio de estacionamento antes de realizar qualquer inspeção, ajuste ou manutenção.
- Fluido Hidráulico: Inspeccione diariamente mangueiras e conexões hidráulicas. Não manuseie com o sistema pressurizado.
-  Proibido: É estritamente proibido transportar pessoas sobre o implemento.

2.3. Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) Recomendados

O operador deve **SEMPRE** utilizar os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) recomendados, de acordo com as normas da empresa.

3. Descrição e Funcionalidades

3.1. Descrição Técnica do Equipamento

O IrrigAI é um implemento agrícola desenvolvido para acoplamento na parte frontal do trator, projetado para realizar a irrigação automatizada e precisa de mudas do qual foi previamente programado.

O sistema integra tecnologia de visão computacional e controle eletrônico, permitindo a detecção das mudas em tempo real por meio de câmeras e a liberação controlada de água em cada ponto identificado.

Essa combinação garante eficiência no uso de recursos hídricos, uniformidade na irrigação e aumento da produtividade operacional no campo.

O sistema atua como um aplicador de volume controlado (VC). A detecção é realizada por um algoritmo de Visão Computacional de Borda (Edge Computing) com latência inferior a 100 ms. O acionamento é realizado por válvulas solenoides de alta frequência controladas via Interface de Controle Humano (IHM), garantindo o tempo de abertura necessário para a injeção do volume programado, independente da velocidade do trator (até 2,5 km/h).

3.2. Sobre o Equipamento – IrrigAI

O IrrigAI – Irrigador Inteligente – é um implemento agrícola de alta tecnologia, projetado para ser acoplado à parte frontal de tratores, com o objetivo de revolucionar a irrigação localizada de mudas de eucalipto. Este sistema de ponta garante uma aplicação de água automatizada e extremamente precisa, cobrindo até três linhas de cultivo simultaneamente.

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

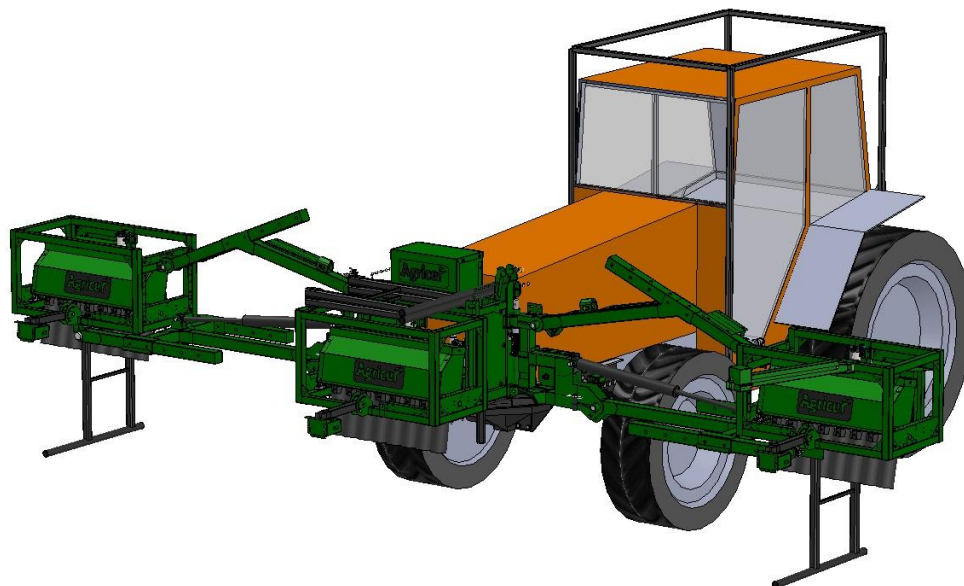


Figura 1 - IrrigAI – Irrigador Inteligente (3 linhas), visão isométrica.

Seu funcionamento é baseado em um avançado **sistema de visão computacional (IA)** que detecta a posição exata de cada muda em tempo real. Uma vez identificada, o implemento utiliza mecanismos de **Compensação Longitudinal e Transversal** para sincronizar o disparo de água com a velocidade do trator e corrigir desvios laterais, assegurando que o volume de água programado caia diretamente na planta com precisão milimétrica, maximizando a eficiência hídrica e o desenvolvimento das mudas.

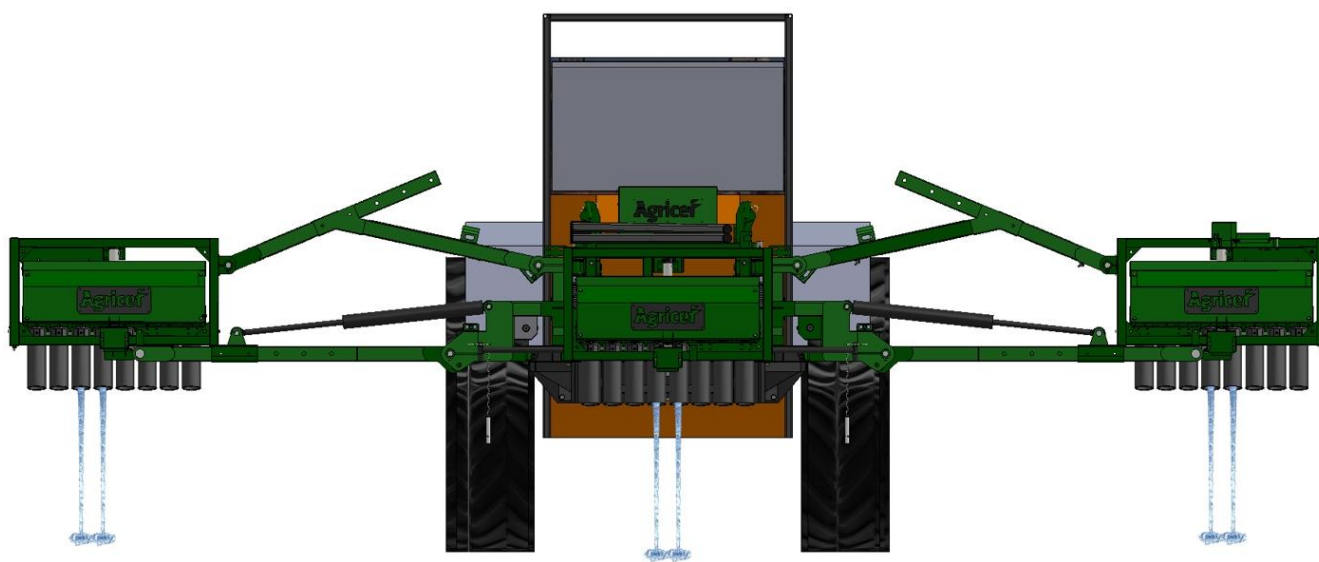


Figura 2 - IrrigAI – Irrigador Inteligente (3 linhas), visão frontal.

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

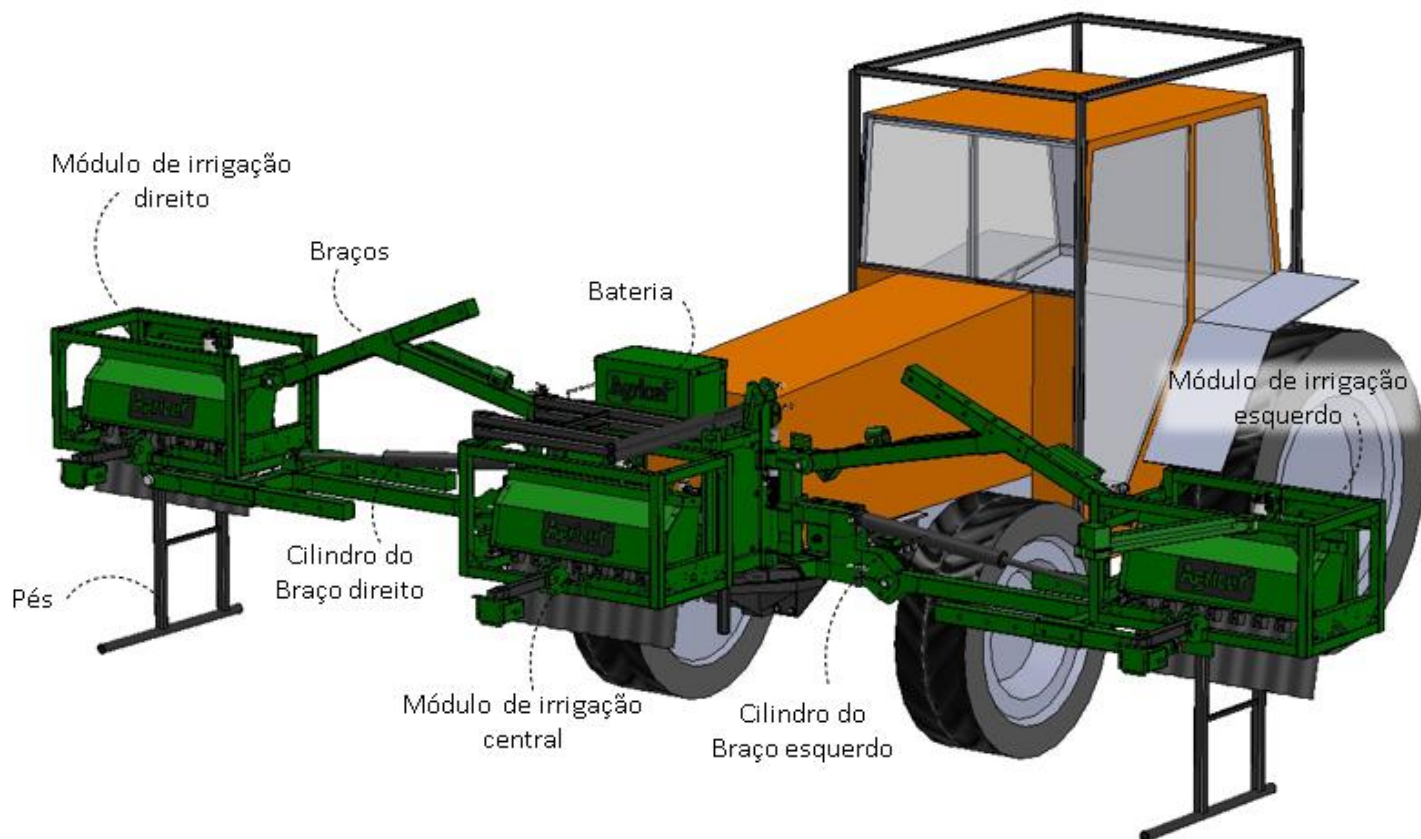


Figura 3 - Componentes do Irrigador de 3 linhas.

3.2.1. Componentes Principais

- Para-choque: Permite o acoplamento seguro do implemento.
- Estrutura metálica: Foi projetada com cálculos estruturais para ser robusta e resistir ao ambiente florestal.
- Braços articulados: Responsáveis por recolher os módulos de irrigação laterais.
- Sistema hidráulico: Garante a pressurização e o controle preciso da irrigação.
- Válvulas de irrigação: Eletroválvulas solenoides (8 por módulo) com tempo de resposta de 1 ms, operando a 12 VDC. Regulam o fluxo de água para cada módulo.
- Câmeras de identificação: Módulos HD com algoritmo de processamento de imagem baseado em Rede Neural, taxa de quadros de 10 FPS, e campo de visão (FOV) otimizado. Detectam mudas, permitindo irrigação localizada e precisa.
- Painel de controle: Interface do operador para ajuste de parâmetros e monitoramento do sistema

3.2.2. Modelos Disponíveis e Dimensões

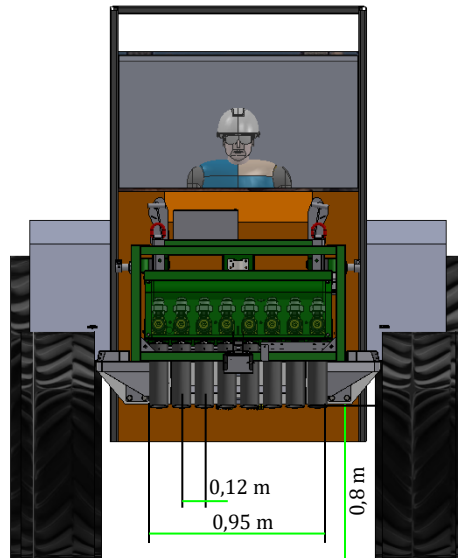


Figura 4 - Modelo de 1 linha.

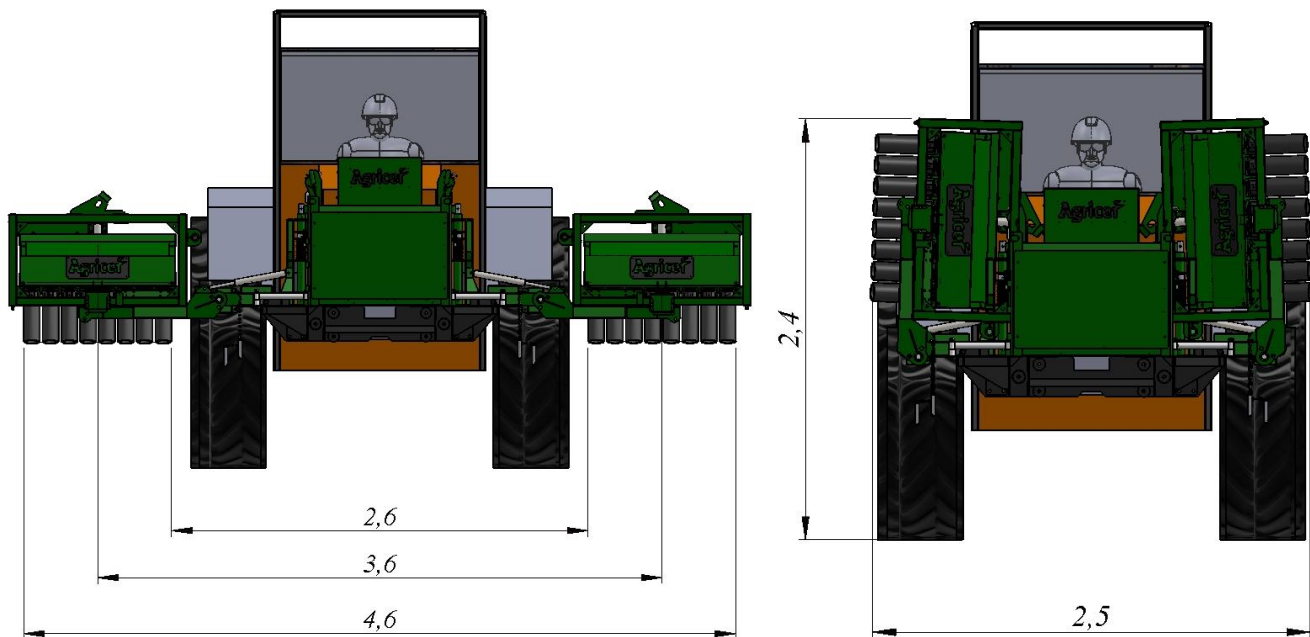


Figura 5 - Modelo de 2 linhas.

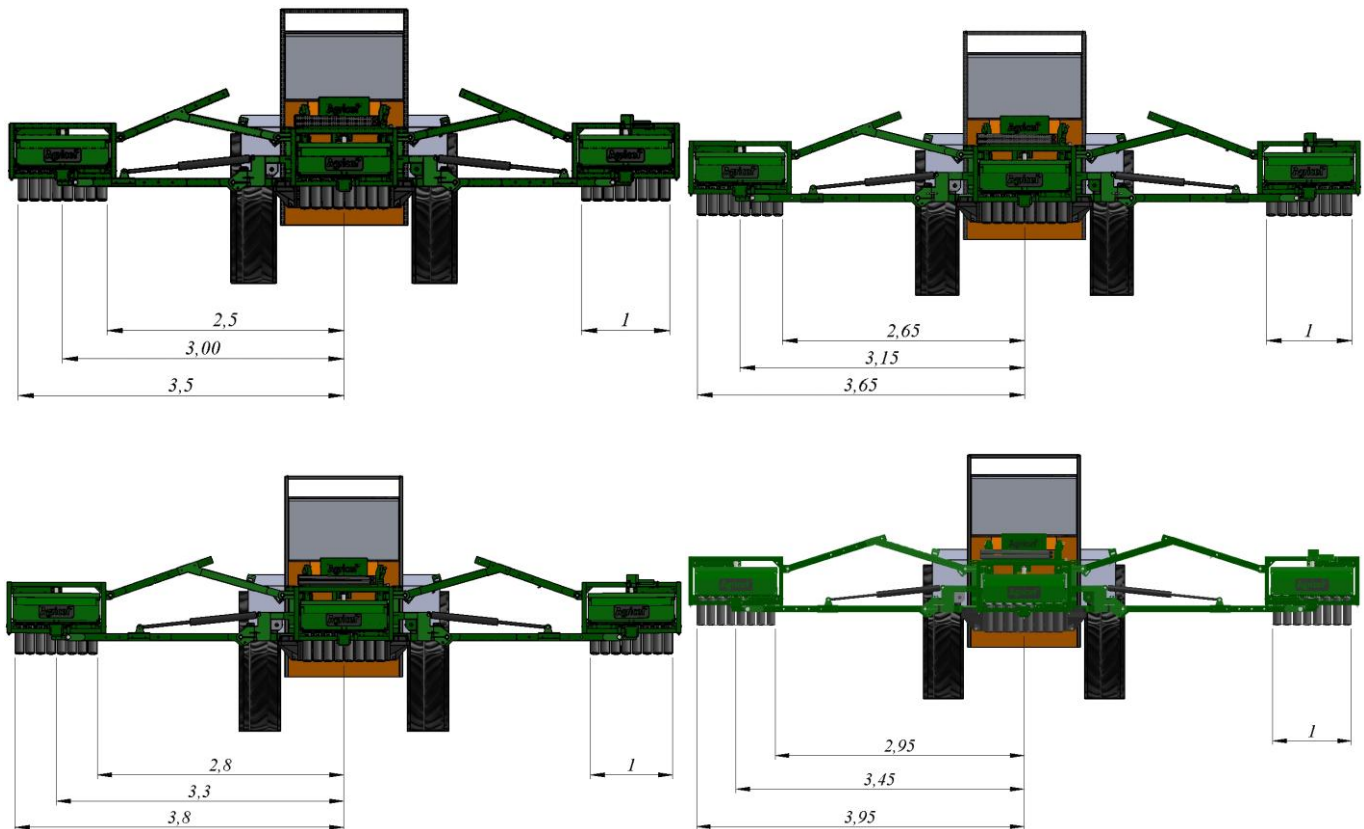


Figura 6 - Modelo de 3 linhas.

3.2.3. Requisitos Operacionais e Desempenho do Sistema de Irrigação de Precisão com IA

As tabelas a seguir complementam a descrição do Implemento de Irrigação de Precisão com Inteligência Artificial (descrito anteriormente), fornecendo os parâmetros operacionais, requisitos técnicos e métricas de desempenho essenciais para sua utilização eficiente em campo.

A Tabela de Desempenho Operacional apresenta a capacidade de trabalho do implemento em diferentes configurações de linha (1, 2 e 3 linhas), demonstrando o rendimento (ha/h) esperado com base na velocidade padrão de 2,5 km/h. Ela enfatiza a importância de uma logística de suprimentos dedicada para mitigar perdas significativas de tempo devido a manobras e reabastecimento.

A Tabela de Especificações Técnicas e Requisitos define os pré-requisitos ambientais e de equipamento necessários para a operação correta do sistema, incluindo:

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

- Parâmetros da Cultura: Distâncias mínimas entre mudas e tolerância máxima para o paralelismo das linhas.
- Requisitos do Trator: A potência mínima exigida (120 cv) para o acionamento do implemento.
- Requisitos Hídricos: O volume de água programado por planta (até 4 litros), a pressão operacional (2 bar), a vazão necessária da bomba (72 m³/h para 3 linhas) e, crucialmente, a necessidade de água limpa e filtrada para proteger o mecanismo de válvulas de precisão.

Em conjunto, essas informações fornecem um quadro completo tanto das capacidades de automação do sistema quanto das exigências de infraestrutura e calibração necessárias para atingir a máxima produtividade e precisão na irrigação localizada.

Tabela 1 - Especificações Técnicas e Requisitos

Característica	Especificação
Paralelismo das linhas	Erro máximo de 0,9 metros
Distância entre mudas	Mínimo de 1,5 metros
Velocidade de irrigação	2 a 3 km/h (dependendo do terreno e do espaçamento das mudas)
Equipamento	Tanque, bomba de água e filtro de água fornecidos pelo cliente
Volume de água por planta	Até 4 litros
Pressão da água	2 bar
Vazão da bomba de água	72m ³ /h (para o irrigador de 3 linhas)
Agente espessante	Pode ser usado, se necessário
Qualidade da água	Necessário uso de água limpa para evitar entupimento das válvulas; filtro obrigatório para água impura
Potência mínima do trator	120 cv

Tabela 2 - Rendimento do Equipamento

Modelo	Velocidade (Média)	Distância Entre Mudanças	Distância Entre Linhas	Desempenho	Observações
3 linhas				1,5 ha/h	25% de perda devido a manobras e reabastecimento.
2 linhas	2,5 km/h	1,9 m	3 m	1,0 ha/h	
1 linha				0,5 ha/h	

3.2.4. Funcionalidades

A tabela a seguir detalha as funcionalidades de um implemento agrícola de alta tecnologia projetado para otimizar a irrigação localizada e de precisão em culturas em linha. Este sistema representa um avanço na

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

agricultura de precisão, integrando visão computacional (IA), mecanismos de correção de movimento e desalinhamento e controle de vazão individualizado para garantir que o volume exato de água programado (mínimo de 4 litros por planta) seja entregue de forma pontual e eficiente.

Tabela 3 - Funcionalidades do sistema.

Comando	Função
Acomodação de Múltiplas Linhas	O implemento suporta a irrigação simultânea de até 3 linhas de cultivo (central, esquerda e direita), cada uma com seu próprio módulo de irrigação dedicado.
Compensação Longitudinal Inteligente	Compensação automática da velocidade linear do trator. Garante que o volume de água programado (4 L por planta, no mínimo) seja aplicado precisamente no ponto da muda, mesmo em movimento.
Compensação Transversal de Linha	Mecanismo que corrige ativamente variações de espaçamento de linha, com capacidade de absorver desvios laterais de até ± 400 mm da linha-base, garantindo que a água atinja o alvo.
Identificação Precisa por Visão Computacional (AI)	Utilização de três câmeras HD (uma por módulo) e Inteligência Artificial para identificação em tempo real das mudas, permitindo a liberação instantânea e localizada da água. Funciona com velocidade de deslocamento de até 2.5 km/h.
Acionamento Automático ou Manual	O operador pode escolher entre o Modo Automático (via visão computacional) para precisão máxima ou o Modo Manual para testes, calibração ou ajustes específicos de volume e tempo (via software e botões na cabine).
Braços Articulados e Desarme Automático	Braços articulados laterais que suportam e posicionam os módulos. Possuem um sistema de desarme/proteção articulado, que recolhe o braço em caso de colisão lateral, prevenindo danos graves.
Acoplamento/Desacoplamento Rápido e Seguro	Mecanismo projetado para facilitar a instalação e remoção do implemento no trator através de engates rápidos, garantindo agilidade operacional e fixação segura durante o uso.
Distribuição e Controle de Vazão	Cada módulo de irrigação é equipado com 8 válvulas, permitindo a liberação controlada e uniforme da água com vazão ajustável, garantindo o volume mínimo de 4 L por planta.
Interface de Controle Intuitiva	Painel de controle na cabine para monitoramento de câmeras, coordenadas GPS, diagnóstico de sistema, calibração e ajuste de parâmetros operacionais.
Acomodação de Múltiplas Linhas	O implemento suporta a irrigação simultânea de até 3 linhas de cultivo (central, esquerda e direita), cada uma com seu próprio módulo de irrigação dedicado.

3.3. Unidade de Irrigação

A Unidade de Irrigação é o coração do sistema de aplicação e é a responsável pelo controle preciso da vazão e aplicação localizada da água em cada muda.

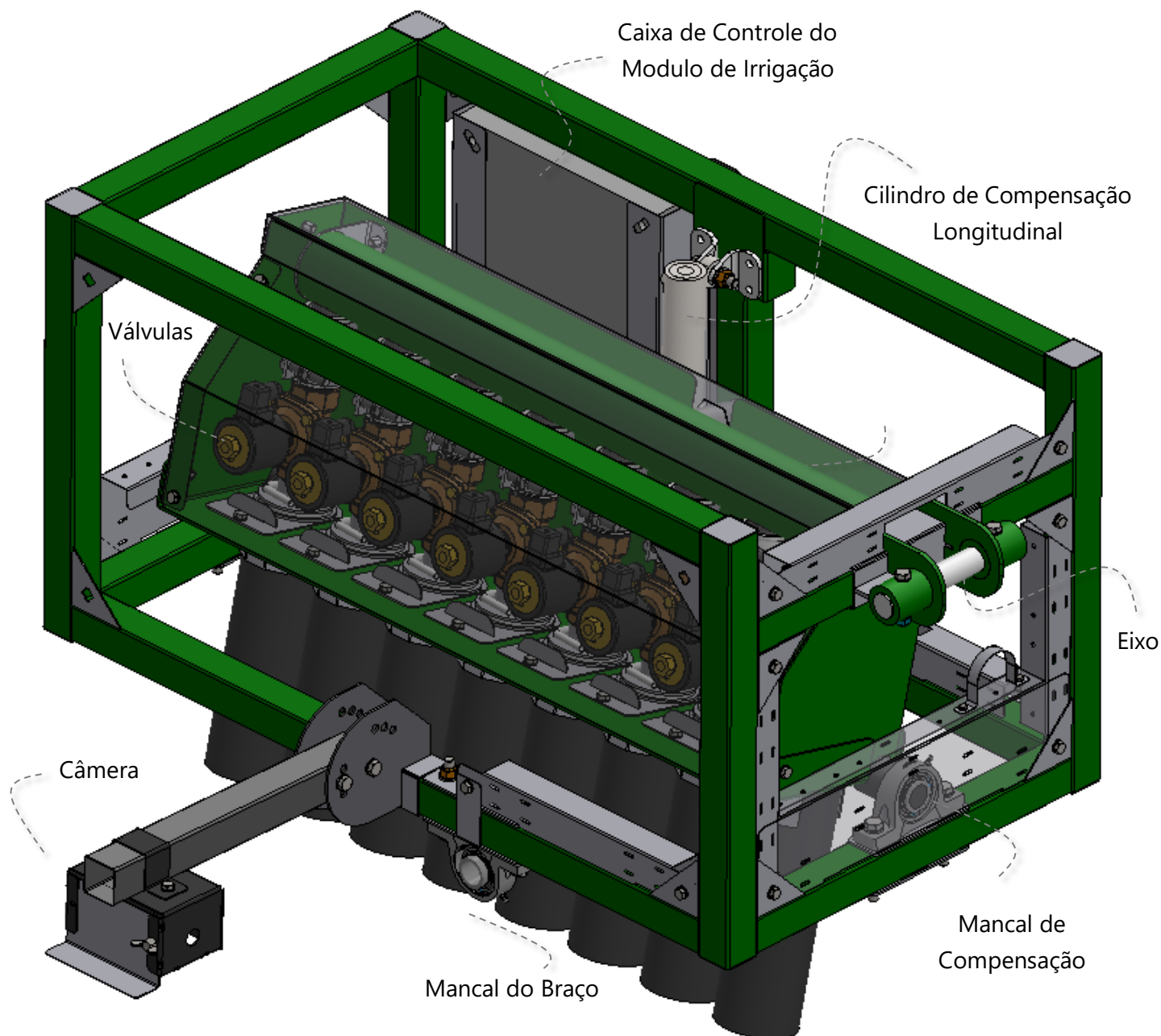


Figura 7 - Módulo de irrigação: válvulas, acumulador e compensação.

3.3.1. Fluxo de Água e Pressurização

- Pressurização: A água é pressurizada pela bomba de água externa (carreta/tanque), que deve ser acionada pelo sistema hidráulico do trator.
- Controle de pressão: A pressão da água é ajustada e monitorada por uma válvula manual e lida diretamente no manômetro dedicado ao implemento.
- Pressão ideal: A pressão de trabalho recomendada para garantir o desempenho e o volume correto de água está entre 1,5 e 2,0 bar. A pressão exata deve ser ajustada e calibrada de acordo com as condições específicas do campo.
- Distribuição: Após o controle de pressão, a água é distribuída por mangueiras de alta pressão para cada um dos módulos de irrigação (central, esquerdo e direito).

3.3.2. Acumulador de Água (Garantia de Volume)

- Finalidade: Dentro de cada módulo existe um Acumulador com capacidade de 7 litros. Este componente é essencial para garantir que a vazão instantânea necessária seja fornecida no momento exato da irrigação.
- Desempenho: O acumulador permite a liberação do volume de 4 litros de água em um tempo extremamente curto (aproximadamente 500 ms), garantindo que a muda receba o volume total necessário.
- Controle: Por fim, as válvulas de irrigação do módulo recebem o comando eletrônico da Unidade de Controle (via AgroCAM ou Modo Manual) para abrir e liberar o volume de água.

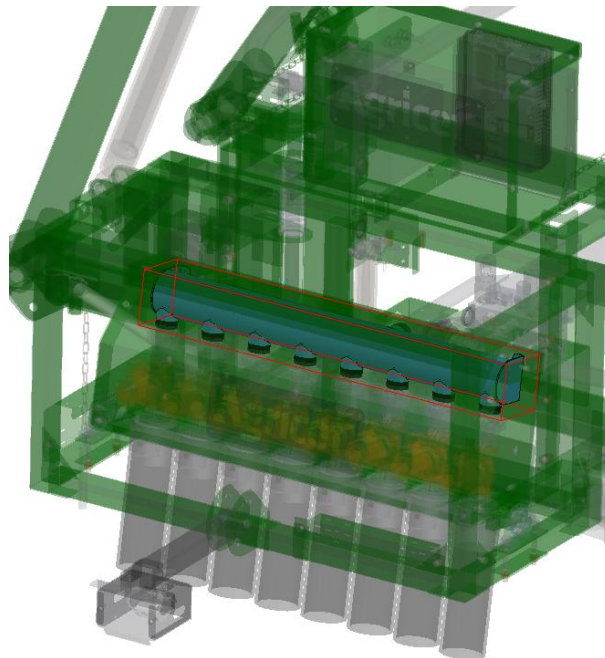


Figura 8 - Unidade de irrigação com detalhe para o acumulador de água

3.3.3. Sistema de Compensação Longitudinal

A Compensação Longitudinal é o mecanismo que assegura que o volume de água seja aplicado precisamente no ponto da muda, eliminando o efeito do movimento contínuo do trator.

- Princípio da compensação: O sistema atua sincronizando o ponto de aplicação da água com a velocidade de deslocamento do trator (velocidade linear). Isso é alcançado pela inclinação do conjunto de irrigação para trás, criando uma velocidade angular que "rastreia" a muda enquanto a água é liberada.
- Mecanismo: A inclinação é realizada por um cilindro hidráulico dedicado, que move o módulo de irrigação no sentido longitudinal (frente e trás).
- Ajuste da velocidade: A velocidade de movimento desse cilindro deve ser regulada por meio da válvula hidráulica correspondente. É importante notar que, graças ao design do sistema, pequenas variações no ajuste da válvula já são suficientes para alcançar um alto nível de exatidão na aplicação.

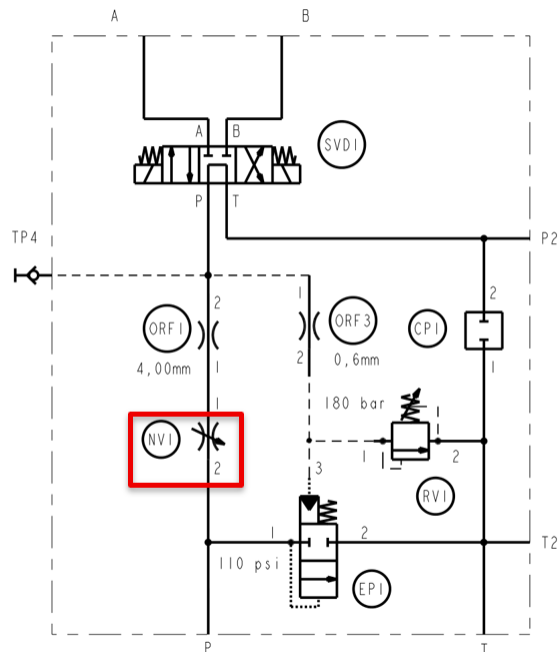


Figura 9 - Diagrama hidráulico do bloco de compensação longitudinal.

Essa válvula controla o fluxo de óleo, ajustando essa válvula, irá ajustar a velocidade do cilindro de compensação longitudinal

Resumo: A velocidade angular gerada pelo cilindro compensa a velocidade linear do trator, garantindo que o pulso de água seja aplicado no mesmo ponto exato.

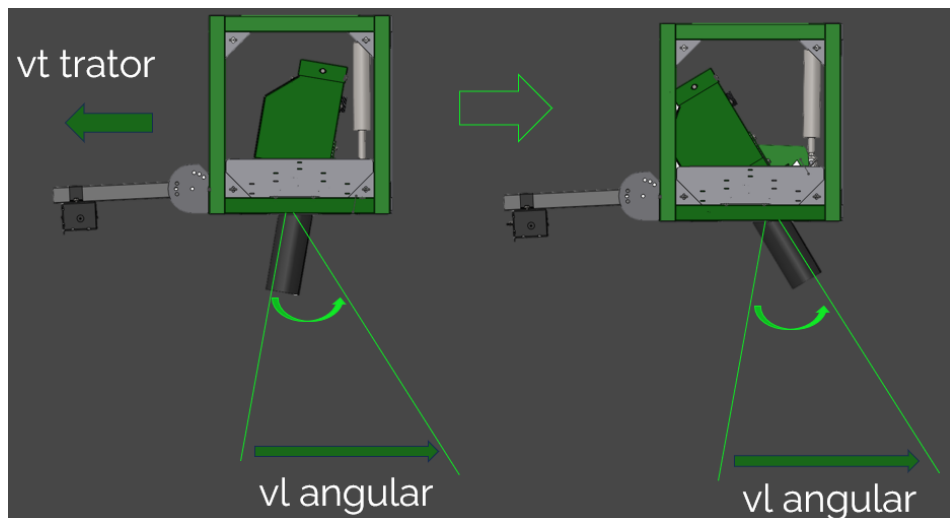


Figura 10 - Compensação longitudinal.

3.3.4. Sistema de Compensação Transversal

A Compensação Transversal é o recurso inteligente que garante a precisão de aplicação mesmo que o trator desvie da linha de plantio ou o espaçamento entre as mudas seja irregular.

- Visão Computacional: A Câmera de Identificação (AgroCAM), instalada à frente do módulo de irrigação, monitora continuamente a linha de plantio.
- Identificação e Faixas de Detecção: A Inteligência Artificial (IA) embutida no sistema processa a imagem da câmera, detectando a posição exata da muda de forma transversal (lateral). Para isso, a área de visão é dividida em 7 faixas de detecção.
- Alcance da Compensação: Este mecanismo de compensação é capaz de absorver variações de espaçamento lateral de até 400 mm da linha-base, garantindo que o volume de água programado caia diretamente na muda, mesmo com desvios do trator.

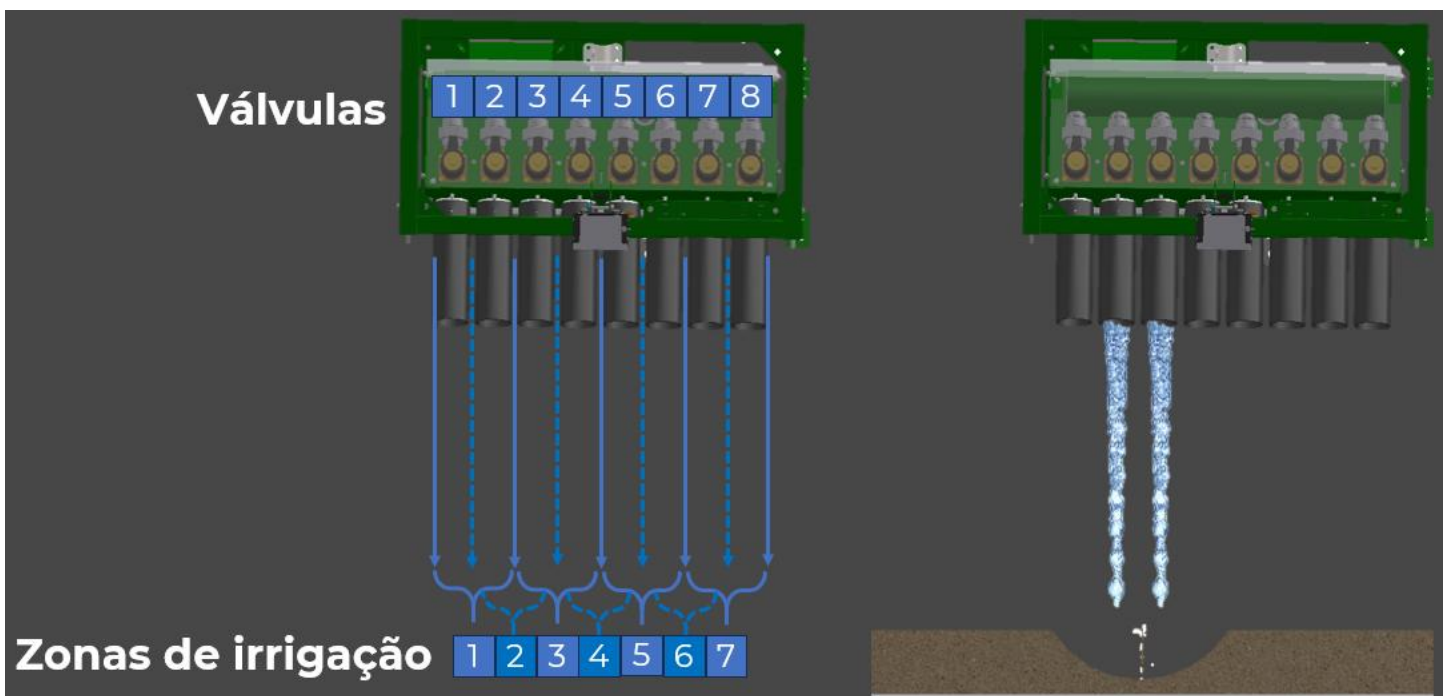


Figura 11 - Compensação transversal.

3.4. AgroCam

O sistema Agrocam é o módulo de visão computacional e controle responsável pela precisão da irrigação. Ele opera em tempo real e de forma autônoma (não requer conectividade externa), executando o algoritmo de Inteligência Artificial para identificar as mudas.

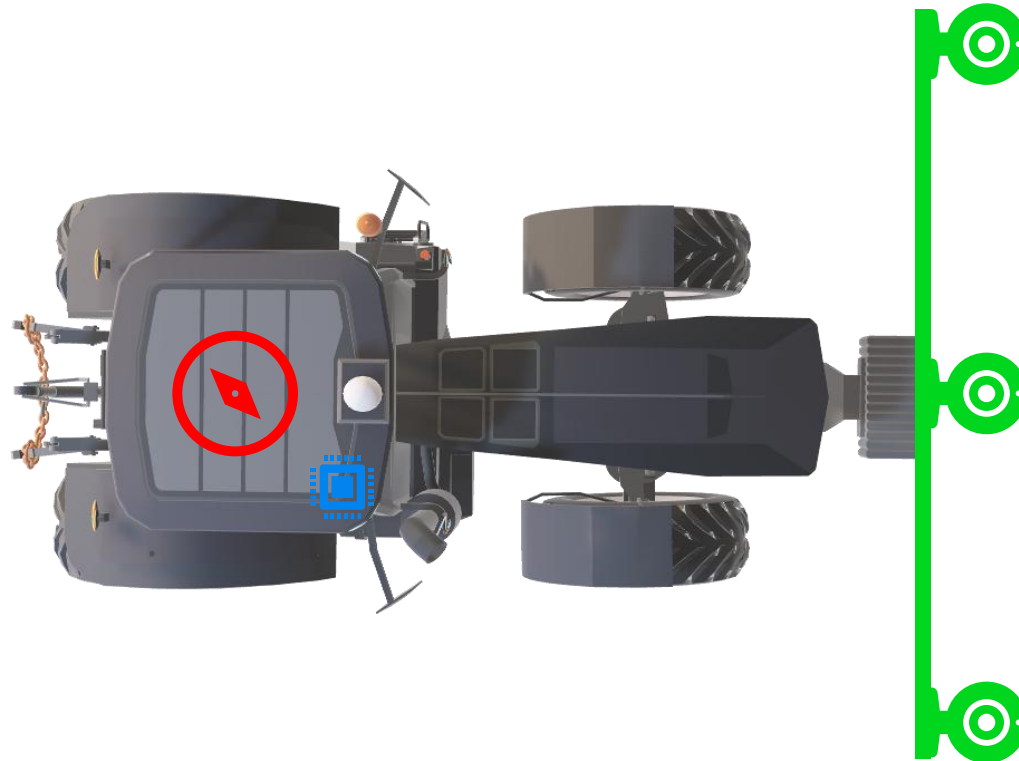


Figura 12 - Componentes do sistema AgroCAM.

3.4.1. Características Chave

- Capacidade de Detecção: Utiliza de 1 a 3 câmeras HD de alta durabilidade, posicionadas estrategicamente sobre cada linha de cultivo.
- Localização: Integra um receptor de Sinal de GPS de alta precisão para sincronizar a posição da muda com a velocidade de deslocamento do trator.
- Processamento Embarcado: A IHM (Interface Homem-Máquina) inclui uma unidade de processamento embarcada dedicada à execução do algoritmo de identificação e ao envio instantâneo do pulso de ativação para as válvulas de irrigação.
- Autonomia: O sistema não requer conectividade (internet ou rede celular) para a operação em campo, dependendo apenas do processamento onboard.

3.4.2. Interface de Controle (IHM) – Acesso e Telas

O acesso ao software e o monitoramento do sistema são realizados através da IHM (Painel de Controle) instalada na cabine do trator.

Tabela 4 - Elementos chave da interface homem-máquina (IHM) do sistema AgroCAM.

Elemento da IHM	Função Principal
Tela de Monitoramento Principal	Exibe em tempo real o feed das câmeras HD, permitindo ao operador confirmar a correta identificação das mudas (geralmente com uma caixa delimitadora ou marcador verde sobre o alvo).
Coordenadas GPS	Apresenta a localização atual para diagnóstico e rastreamento.
Diagnóstico do Sistema	Indica o status operacional (Pronto/Alerta/Falha) e a latência de processamento da IA.
Botão "modo auto"	Seleciona o modo de operação principal, onde a Visão Computacional controla automaticamente o disparo das válvulas de irrigação.
Botão "modo manual"	Seleciona o modo de calibração ou testes, permitindo ao operador acionar as válvulas por tempo (via software) para verificar o volume e o sincronismo.

Para configurações avançadas de volume, tempo de pulso e diagnóstico, o software pode ser acessado conforme detalhado na Seção 6. O acesso a este menu permite a calibração precisa dos comandos de tempo (e, f, g, h) para garantir que o volume de 4 litros seja mantido sob diferentes condições de pressão.

4. Princípio de Funcionamento

Esta seção deve descrever, de forma técnica e sequencial (passo a passo), como o sistema IrrigAI processa dados e executa a aplicação de água, transformando a detecção visual em uma ação mecânico-hidráulica precisa.

4.1. Ciclo de Processamento e Sincronização

4.1.1. Captura e Aquisição (Módulo AgroCAM)

O sistema Agrocam (SensorVision) é a tecnologia central que garante a precisão do IrrigAI. Ele é responsável por identificar as mudas em tempo real e comandar o disparo das válvulas.

4.1.1.1. Detalhes Técnicos para o Operador

- **Captura de Imagem:** A câmera HD frontal de cada módulo captura a imagem da linha de plantio continuamente enquanto o trator se desloca.
- **Reconhecimento de Padrão (IA):** O algoritmo de Inteligência Artificial embarcado foi treinado com um vasto banco de dados (mais de 10.000 capturas) para reconhecer o padrão da muda de eucalipto.

- **⚠ Importante:** O sistema reconhecerá eficientemente apenas as mudas que forem semelhantes em formato e tamanho ao padrão com o qual foi treinado. Mudas significativamente diferentes podem não ser identificadas corretamente.
- Velocidade de Processamento: Para garantir alta eficiência de processamento e evitar a sobrecarga do sistema, o software opera analisando 10 quadros (frames) por segundo. Esta taxa de análise é otimizada para a velocidade de trabalho recomendada (2,5 km/h).
- Independência de Cor: O algoritmo de identificação é baseado em forma e textura (padrão estrutural) e não utiliza a cor da muda como fator de reconhecimento. Isso garante que a identificação seja robusta e não seja afetada por variações de iluminação ou sombreamento.

4.1.2. Sequência de Ação e Lógica de Irrigação

O sistema IrrigAI segue uma sequência lógica rigorosa para garantir a aplicação precisa da água, baseada na posição exata da muda:

I. Reconhecimento e Posição Transversal:

- A Inteligência Artificial (IA) inicia o processo, primeiro, identificando a presença de uma muda na área de visão.
- Após o reconhecimento, a IA determina a posição exata da muda lateralmente (transversalmente), identificando em qual das sete faixas de detecção a muda se encontra.

II. Ponto de Disparo (Sincronização Longitudinal):

- O sistema monitora o deslocamento da muda. Quando a muda atinge o ponto exato de aplicação, o sistema dispara o comando para as válvulas.
- Ação Transversal: O comando de disparo é direcionado para as duas válvulas que correspondem à faixa transversal onde a muda foi localizada.

III. Ação de Irrigação Padrão (Válvulas Gêmeas):

- Para garantir uma cobertura eficiente e uniforme sobre a muda, **sempre duas válvulas** adjacentes, que estão alinhadas com a posição lateral (faixa) da muda, serão abertas simultaneamente.

4.1.3. Modo automático: Irrigação por Tempo (Sem Reconhecimento)

- Falha de detecção: Caso o sistema não encontre nenhuma muda ao longo da distância padrão pré-estabelecida (definida durante a calibração), ele ativa as válvulas por distância com base na velocidade do GPS.
- Irrigação forçada: Neste modo de irrigação por tempo, as quatro válvulas centrais do módulo de irrigação são abertas, liberando um pulso de água de forma básica.

- **⚠ Importante:** Nessa condição, o movimento de Compensação Longitudinal é desativado, e a água é liberada por tempo.

Objetivo: Esta ação visa evitar longos períodos de aplicação sem irrigação em caso de falha temporária de leitura ou ausência prolongada de mudas na linha, garantindo a umidade mínima do solo.

4.1.4. Compensação Transversal (Correção de Linha)

- Detecção transversal: A Inteligência Artificial (IA) detecta continuamente a posição lateral (transversal) da muda. A área de visão é segmentada em sete faixas de detecção para alta precisão.
- Ação da válvula: A IA dispara o sinal de irrigação para as duas válvulas que correspondem à faixa transversal exata onde a muda está localizada.
- Função da IA: A função primária da IA é, portanto, determinar a posição lateral e enviar o comando para abrir as válvulas.

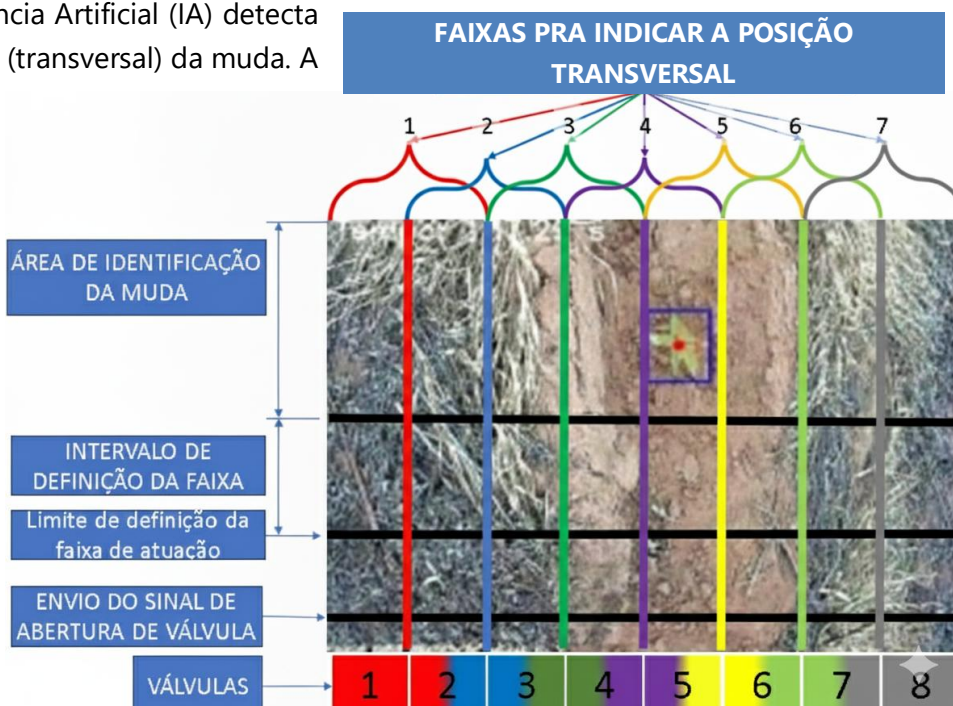


Figura 13 - Lógica de identificação e correlação entre faixas transversais e abertura das válvulas.

4.1.5. Sincronização Longitudinal (Acionamento Eletro-Hidráulico)

- Sincronização eletrônica: A Compensação Longitudinal (movimento de inclinação do conjunto) é controlada de forma eletrônica. O sistema envia o sinal para o cilindro hidráulico mover o conjunto exatamente no momento em que a muda alcança o ponto de aplicação.
- Sequência padrão de ação: O sinal de irrigação (disparado pela IA) e o sinal de movimento (disparado pela eletrônica) são sincronizados na placa de controle, seguindo a lógica pré-programada:
 - Válvula: Abrir por 500 ms (para liberar o volume de água).
 - Cilindro: Imediatamente após o fechamento da válvula, o sinal é enviado para o cilindro realizar o movimento de compensação por 1400 ms (tempo de ciclo).

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

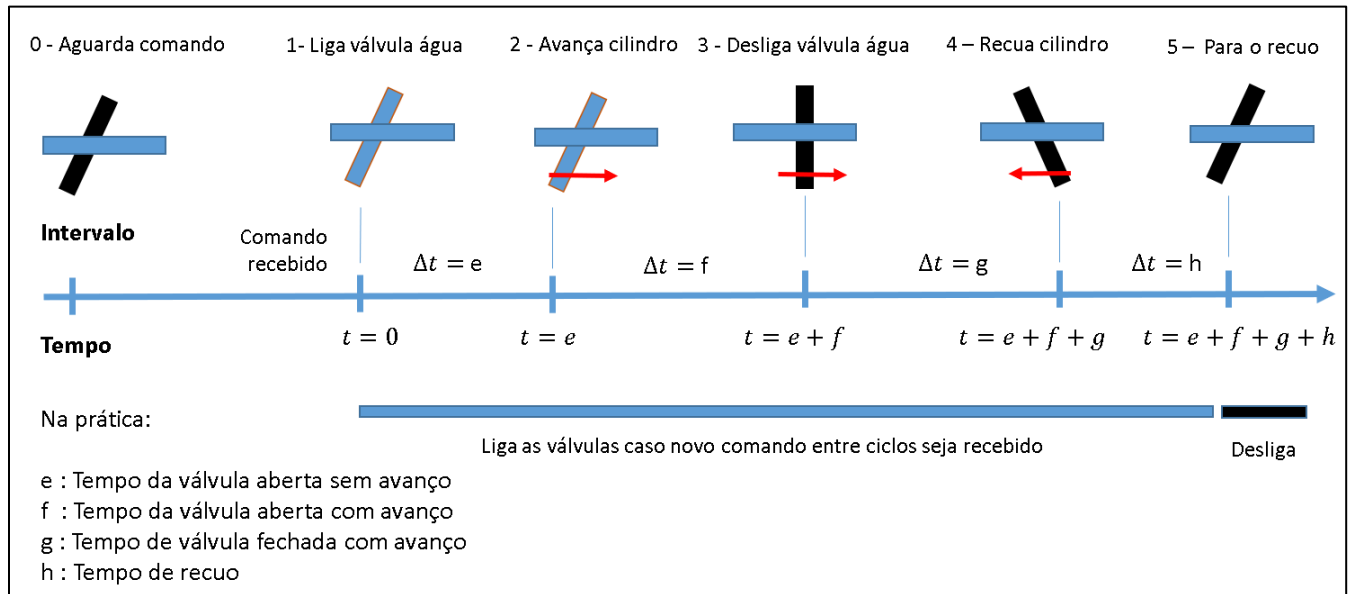


Figura 14 - Diagrama temporal do ciclo padrão de irrigação e compensação (variáveis e, f, g, h).

Tabela 5 - Sequência de ação e parâmetros de tempo do ciclo de irrigação.

Etapa	Ação da ECU / Estado	Variável de Tempo	Racional / Detalhe
0	Aguarda comando	Intervalo de espera	A placa ECU aguarda o sinal de disparo da IA (visão computacional) ou do comando manual.
1	Abre válvula de água	$\Delta t=e$	A válvula é aberta, liberando o pulso de água. O tempo e define o volume de água injetado (Padrão: 500 ms).
2	Inicia movimento de compensação	$\Delta t=f$	Após o tempo e, a ECU envia o sinal para o cilindro hidráulico iniciar o movimento de avanço (compensação longitudinal).
3	Fecha válvula de água	$\Delta t=g$ (início)	Após o tempo f (Padrão: 1 ms de sincronia), a válvula de água é fechada.
4	Avança cilindro (compensação)	$\Delta t=g$	O cilindro continua o movimento de avanço, garantindo que o módulo acompanhe a muda. O tempo g define a duração do avanço (Padrão: 700 ms).
5	Para o recuo	$\Delta t=h$ (início)	Após o tempo g, o cilindro para o avanço e inicia o movimento de recuo.
6	Recua Cilindro	$\Delta t=h$	O cilindro retorna à posição inicial de descanso. O tempo h define a duração do recuo (Padrão: 700 ms).
7	Ciclo Concluído	$t=e+f+g+h$	O implemento está pronto para o próximo comando.

⚠ Importante: O tempo de 500 ms (variável e) determina o volume de água a ser liberado. Embora a válvula feche rapidamente (após o tempo f), a água que já passou pela válvula e está no bico de saída continua a cair por um tempo adicional (aproximadamente 700 ms), devido à pressurização e à física do fluxo. É por isso que o fechamento da válvula (passo 3) é sincronizado para coincidir com o início do movimento de compensação (passo 2), garantindo que o volume total de água liberado (válvula aberta + água em queda) caia precisamente no ponto da muda.

4.1.6. Monitoramento e Registro

- O ciclo é concluído com o registro da aplicação no data logger interno do sistema.
- Os dados registrados incluem: coordenada GPS, volume injetado e o status da correção (indicando o modo de aplicação utilizado).

4.2. Descrição dos Modos de Operação

- Modo Automático: Operação baseada no ciclo 4.1.
- Modo Manual: Operação de calibração, onde a detecção da muda é ignorada, e o disparo das válvulas e o movimento dos cilindros são controlados diretamente pelo operador via comandos de tempo (Seção 6).

5. Operação do Sistema

Procedimentos para iniciar o equipamento, configuração e operação do sistema. Incluir instruções para calibração e ajustes operacionais.

5.1. Ligando o Sistema de Irrigação

Antes de ligar o sistema, certifique-se de que o implemento esteja acoplado corretamente (ver Seção 9) e que o trator esteja estacionado em local plano e seguro.

- I. Segurança e emergência: Verifique se o botão de emergência (cogumelo) não está acionado (puxar para desativar). Afaste qualquer pessoa que esteja próxima ao trator e ao implemento.
- II. Acionamento elétrico/eletrônico: Ligue a chave geral do implemento.
- III. Acionamento hidráulico: Ligue o sistema hidráulico do trator para energizar o sistema de compensação e a bomba de água do implemento.
- IV. Posicionamento dos braços: Abaixar os braços laterais (direito e esquerdo) de forma suave, até que o sensor de fim de curso sinalize que a altura de trabalho foi alcançada.
- V. Verificação do sistema (teste): Coloque o sistema no MODO MANUAL e pressione o botão TESTE. Confirme visualmente se todas as válvulas de água e os cilindros de compensação estão funcionando (pulso/movimento).

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

- VI. Verificação da interface: Aguarde 20 segundos para o carregamento completo do sistema eletrônico. Certifique-se de que a interface está operando corretamente: Câmera funcionando (imagem nítida) e Coordenadas GPS ativas.
- VII. Pronto para operar: Volte o sistema para a função AUTO (Modo Automático). O IrrigAI está pronto para a operação de campo.

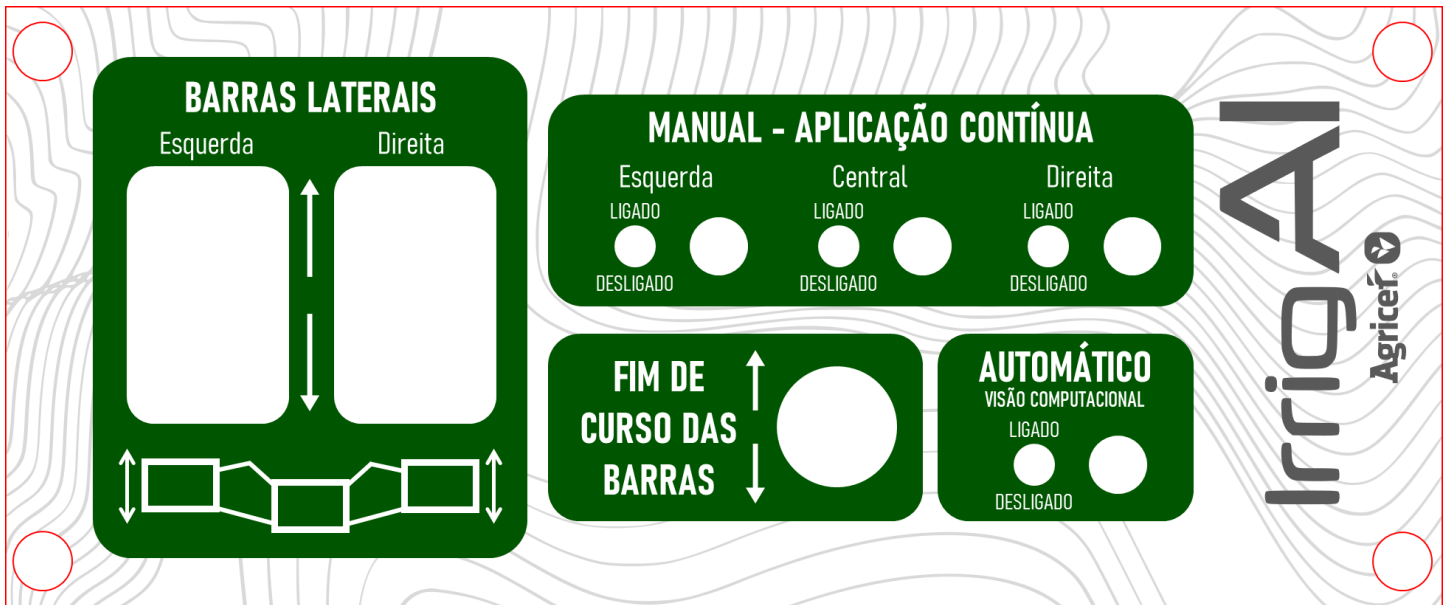


Figura 15 - Painel de controle: comandos de modo, teste e movimentação dos braços. Dimensão 86mm x 205mm.

5.2. Iniciando Irrigação

Após completar o procedimento de Startup (Seção 5.1) e verificar que o sistema está no **MODO AUTO**, siga os passos abaixo para iniciar a irrigação:

- I. Ajuste de rotação do motor (rpm): Ajuste a rotação do motor do trator para 1500 rpm. Este é o rpm ideal que garante o fluxo hidráulico e a pressão de água adequados para o desempenho do implemento.
- II. Seleção de velocidade: Engate a marcha do trator que mantenha a velocidade de deslocamento constante entre 2 e 3 km/h (a velocidade ideal de operação do Agrocâm é 2,5 km/h). Manter esta faixa de velocidade é crucial para a precisão da Compensação Longitudinal e o reconhecimento da IA.
- III. Ativação do sistema: Pressione o botão de irrigação no Painel de Controle, ativando o sistema no Modo Automático. O sistema de visão começará a detectar as mudas e a aplicar a água.
- IV. Monitoramento da altura dos braços: Durante a operação, os braços laterais e os módulos de irrigação devem ser monitorados e corrigidos, se necessário. Eles devem ser mantidos em uma altura que:
 - a. Evite Colisão: Não colida com o solo, tocos ou obstáculos.

- b. Evite Excesso de Altura: Não ultrapasse 1 metro de altura do solo para garantir a precisão da aplicação da água.



Figura 16 - Bomba hidráulica.

5.3. Ajustando o Sistema de Compensação Longitudinal

Se a água não estiver caindo consistentemente no ponto exato da muda (indicando que o implemento não está compensando corretamente a velocidade do trator), a velocidade do cilindro hidráulico deve ser ajustada.

5.3.1. Objetivo da Calibração

O objetivo desta calibração é ajustar a **pressão hidráulica** do cilindro de compensação para garantir que a ponta da mangueira percorra uma distância de referência de **250 mm** no tempo programado para o avanço (g).

5.3.2. Calibração de Volume de Água do IrrigAI

- I. Ligue o trator e acione a alavanca para ligar o sistema hidráulico.
- II. Para abrir a válvula de irrigação e realizar a medição do volume de água, após o sistema iniciar, toque na engrenagem e acesse a opção "Calibração". Selecione qual linha será acionada, escolha a válvula desejada e toque em "Enviar" para liberar a saída de água.

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025



Calibração de válvulas por linha

Linhas
Selecione uma ou mais linhas. O comando será enviado para cada linha marcada.

L. Esquerda L. Central L. Direita

Válvula a acionar
Selecione apenas uma válvula. Verde = válvula selecionada.

AA BB CC DD EE FF GG

Válvula: nenhuma | Linha: nenhuma
Porcador: 00:00:00 | 00:00:00

Zerar **Enviar** Cancelar

- III. Durante o teste, outra pessoa deverá permanecer posicionada abaixo da válvula acionada com o medidor de água para realizar a medição do volume aplicado.
- IV. Verifique a quantidade de água indicada no medidor. Caso o volume não esteja correto, aumente o tempo para aumentar o volume de água ou diminua o tempo para reduzir o volume aplicado.
- V. Para alterar o volume de água através do tempo de acionamento, entre na engrenagem e acesse a opção "Config. Tempos".



Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

- VI. Em “Aplicar configurações em”, selecione a linha desejada. Em seguida, na opção “Carregar parâmetros da linha”, escolha a mesma linha para carregar o tempo atualmente gravado no sistema.

Configurações

Carregar parâmetros da linha:

Atraso para avançar mecanismo (ms)

Avanço do mecanismo com irrigação (ms)

Avanço do mecanismo sem irrigação (ms)

Retorno do mecanismo (ms)

Aplicar configurações em:

L. Esquerda L. Central L. Direita

Configurações

Carregar parâmetros da linha:

Atraso para avançar mecanismo (ms)

Avanço do mecanismo com irrigação (ms)

Avanço do mecanismo sem irrigação (ms)

Retorno do mecanismo (ms)

Aplicar configurações em:

L. Esquerda L. Central L. Direita

- VII. Recomenda-se aumentar ou diminuir os valores de 50 em 50. Por exemplo, caso o valor esteja em 700 e seja necessário reduzir o volume de água, altere para 650. Ajustes muito altos podem causar dificuldades no ciclo de irrigação. Após finalizar o ajuste, toque em “Salvar”.
- VIII. O teste de volume deverá ser realizado medindo o funcionamento com uma linha por vez, depois com duas linhas simultaneamente e, por fim, com três linhas ao mesmo tempo.

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

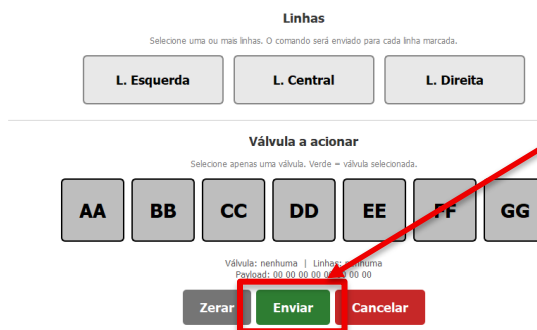
Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

- IX. Para ativar uma, duas ou três linhas simultaneamente, toque na engrenagem e acesse “Calibração”. Selecione a linha desejada, podendo ser apenas esquerda, apenas central, apenas direita, esquerda e direita, ou esquerda, direita e central. Em seguida, selecione a válvula e toque em “Enviar”.



Calibração de válvulas por linha



- X. Caso esteja saindo pouca água, feche mais a válvula de retorno de água do tanque. Se o problema persistir, realize a limpeza do filtro de água.

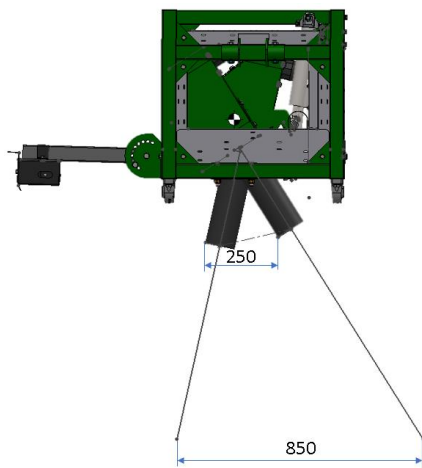


Figura 17 - Medida do movimento de compensação em 3km/h

5.3.3. Lógica de Compensação (Tabela de Referência)

Uma vez que o cilindro esteja calibrado para percorrer 250 mm no tempo de $g = 700$ ms, ele estará apto a compensar a velocidade do trator.

O tempo da variável 'g' deve ser alterado pelo operador conforme a velocidade e a distância entre mudas, mantendo o movimento da ponta da mangueira próximo a 250 mm para garantir a precisão.

Tabela 6 - Parâmetros sugeridos para a variável 'g' em função da velocidade de operação.

Velocidade do Trator	Distância entre Mudanças (m)	Tempo de Ciclo (s)	Valor Sugerido de 'g' (ms)	Distância Percorrida (mm)
3 km/h	1.9	2.28	700	250
2,5 km/h	(Variável)	(Variável)	840	250
2 km/h	(Variável)	(Variável)	1005	250

5.3.3.1. Tabela de Referência de Calibração Avançada

O sucesso da Compensação Longitudinal depende do ajuste correto das variáveis de tempo do ciclo (e, g, h) em relação aos parâmetros de campo (velocidade e espaçamento). Utilize a tabela a seguir como referência para ajustar as variáveis na ECU (Unidade de Controle Eletrônico) e garantir a aplicação precisa.

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

Tabela 7 - Tabela de referência de calibração avançada.

Parâmetro	Velocidade do Trator			Unidade
	3 km/h ou 0,83 m/s	2.5 km/h ou 0,69 m/s	2 km/h ou 0,56 m/s	
Distância entre Mudanças	2,0	2,0	2,0	metros
Tempo entre Mudanças	2,4	2,88	3,60	segundos
e (Válvula Aberta)	421	0,51	0,63	segundos
g (Cilindro Avança)	737	0,88	1,11	segundos
h (Cilindro Recua)	1,052	1,26	1,58	segundos
Total (Tempo Ciclo)	2,21	2,65	3,32	segundos
Distância entre Mudanças	1,9	1,9	1,9	metros
Tempo entre Mudanças	2,28	2,74	3,42	segundos
e (Válvula Aberta)	400	0,48	0,60	segundos
g (Cilindro Avança)	700	0,84	1,05	segundos
h (Cilindro Recua)	1,0	1,20	1,50	segundos
Total (Tempo Ciclo)	2,10	2,52	3,15	segundos
Distância entre Mudanças	1,8	1,8	1,8	metros
Tempo entre Mudanças	2,16	2,59	3,24	segundos
e (Válvula Aberta)	379	0,45	0,57	segundos
g (Cilindro Avança)	663	0,80	0,99	segundos
h (Cilindro Recua)	947	1,14	1,42	segundos
Total (Tempo Ciclo)	1,99	2,39	2,98	segundos

Nota: Os valores de e, g e h listados na tabela são otimizados para garantir o volume de água e a distância de 250 mm percorrida pelo cilindro no tempo 'g' (desde que a pressão hidráulica tenha sido corretamente calibrada conforme Seção 5.3.2).

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

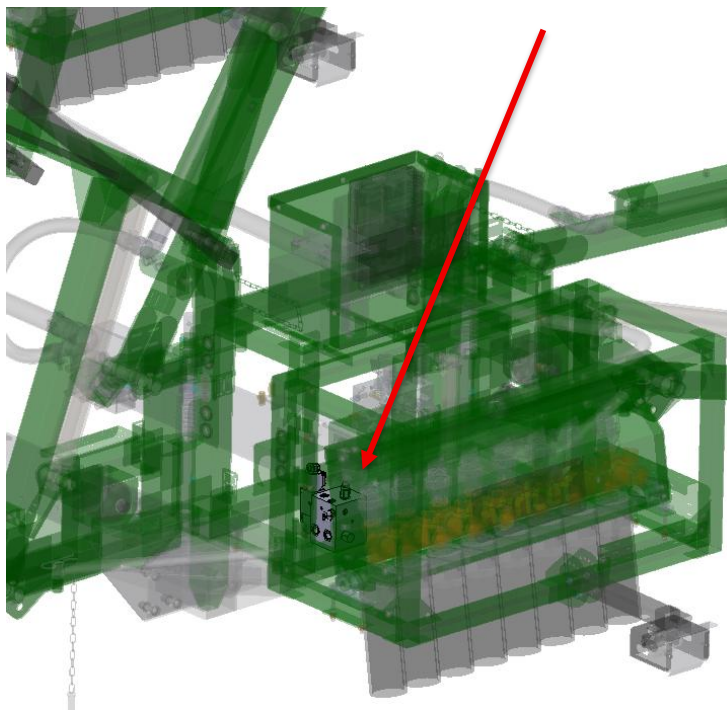


Figura 18 - Localização da válvula de regulagem de vazão

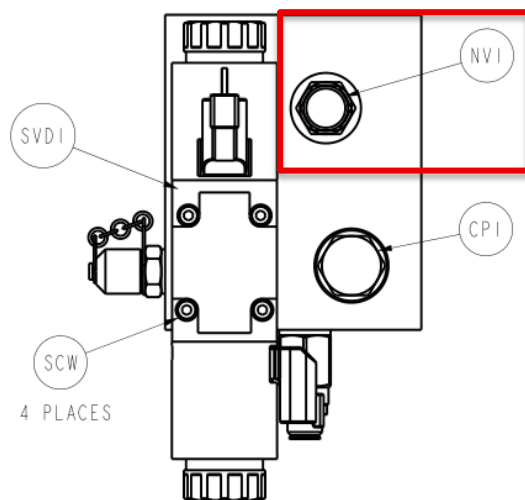


Figura 19 - Válvula de regulagem de vazão

Através da válvula NV1 é possível ajustar a velocidade de compensação longitudinal.

Para que essa velocidade seja constante, é necessário que o sistema hidráulico do trator esteja em boas condições.

5.4. Ajustando a Velocidade de Movimentação dos Braços

A velocidade de elevação e descida dos braços articulados laterais deve ser ajustada para garantir um movimento suave e controlado, prevenindo impactos que possam forçar o sistema mecânico, os cilindros e a estrutura do implemento.

- Localização: Identifique o Bloco Hidráulico de Controle dos Braços e o local das Regulagens de Vazão.

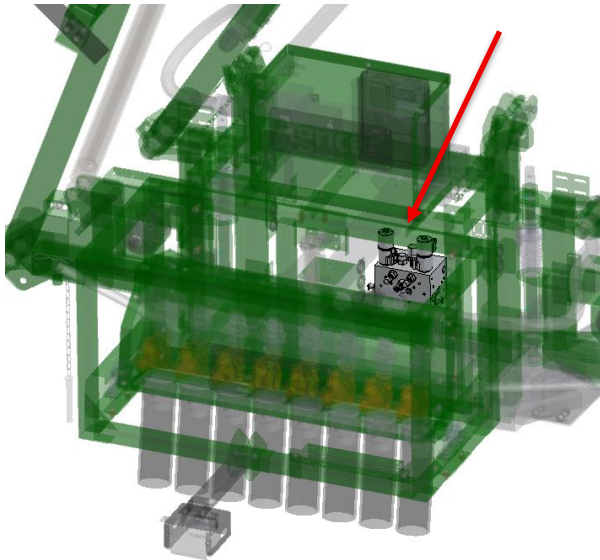


Figura 20 - Localização do bloco hidráulico de controle dos braços

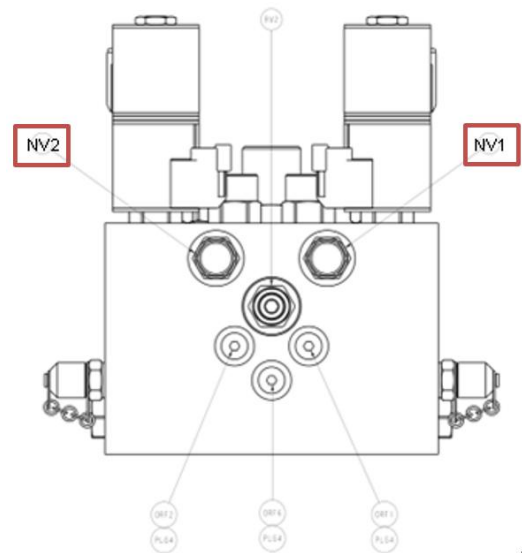


Figura 21 - Localização da regulagem de vazão dos braços

- Pontos de Regulagem: O ajuste da vazão (velocidade) é feito nas válvulas de regulagem fina (Orifícios de Restrição Fina - ORF):
 - ORF 1: Responsável pela regulagem de vazão do Braço Esquerdo.
 - ORF 2: Responsável pela regulagem de vazão do Braço Direito.
- Ajuste: Utilize a ferramenta apropriada para girar os parafusos de regulagem (ORF 1 e ORF 2) até alcançar a velocidade de movimento desejada.
- Teste e Verificação do Tempo: Após o ajuste, realize o movimento completo (de subida ou descida) do braço e meça o tempo total do curso.
 - Requisito Mínimo: O tempo total do curso do braço (subida ou descida) não deve ser menor que 7 segundos.
- Sincronização: Os ajustes de ORF 1 e ORF 2 devem ser feitos para garantir que os braços direito e esquerdo se movam de forma sincronizada e suave.

5.5. Instalação e Desinstalação do Implemento

Esta seção fornece o procedimento detalhado para o acoplamento e a remoção segura do implemento de irrigação IrrigAI ao trator.

A instalação e a desinstalação exigem atenção rigorosa aos detalhes para garantir a correta conexão dos sistemas elétricos, hidráulicos e de água, essenciais para o funcionamento preciso do equipamento.

⚠ Observações Importantes:

- Requisitos: Certifique-se de que o trator atenda a todos os Requisitos Mínimos (ver Seção 3.3), incluindo ferramentas e infraestrutura de apoio (local plano e firme).
- Equipe de segurança: Por questões de segurança e manuseio da carga, os procedimentos de instalação e desinstalação devem ser realizados por, no mínimo, duas pessoas.
- Checklist: Ao final do processo, utilize o checklist de testes iniciais para confirmar o acoplamento seguro e a operacionalidade do implemento.

5.5.1. Instalação

Pré-requisito: O para-choque do trator deve estar instalado. Os pés e as travas do implemento devem estar removidos.

- I. Instale inicialmente apenas o para-choque no trator.
- II. Verifique se a haste central do implemento está posicionada acima do para-choque (conforme a figura).
- III. Alinhe o trator de modo que o para-choque fique coincidente com as duas hastes centrais do implemento.
- IV. Engate todos os cabos elétricos, mangueiras hidráulicas e mangueiras de água.
- V. Eleve os dois braços articulados simultaneamente, devagar, aplicando apenas toques suaves para acoplar.
- VI. Durante o movimento de elevação da estrutura, verifique cuidadosamente se nenhum cabo ou mangueira está sendo pinçado ou enroscado.
- VII. Após o acoplamento completo, insira e aperte os parafusos que fixam o implemento ao para-choque. Remova as travas da articulação e dos pés (se ainda não o fez) e fixe-os na parte traseira do trator para transporte.

5.5.2. Ajuste do Braço do Módulo de Irrigação

Suspenda o módulo de irrigação utilizando cintas adequadas, garantindo que o equipamento permaneça estável e seguro durante o procedimento.

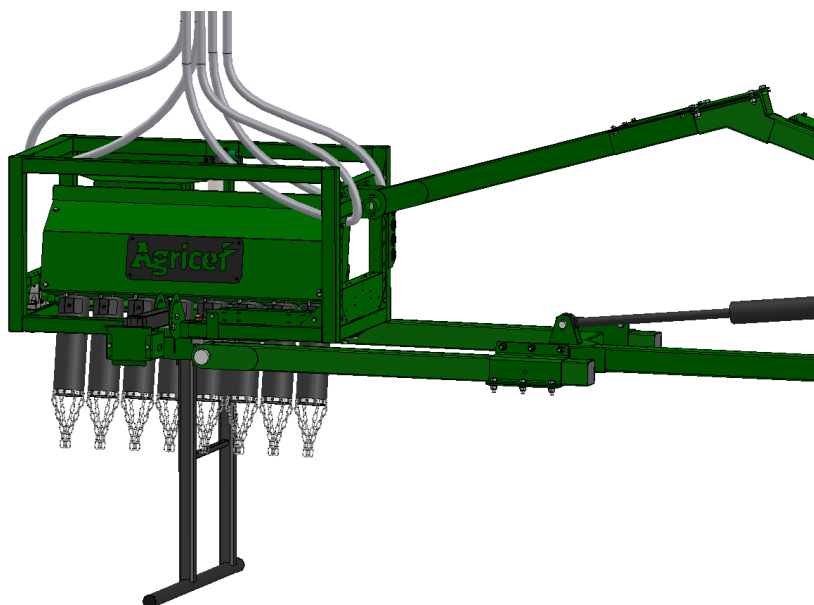


Figura 22 - Suspensão do módulo de irrigação com cintas

Em seguida, solte os parafusos de fixação do braço inferior para permitir a movimentação do conjunto.

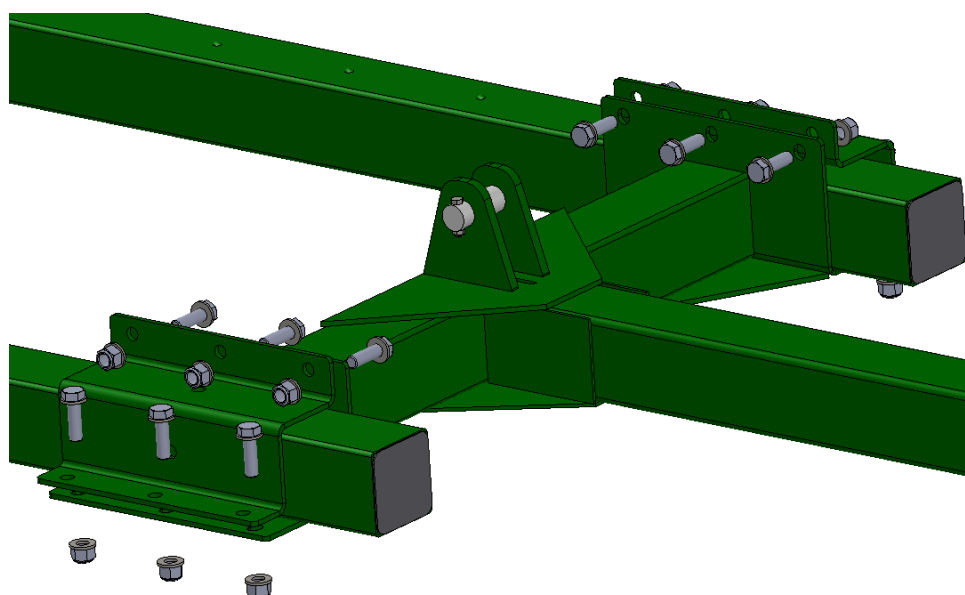


Figura 23 - Fixação do braço inferior

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

Na sequência, solte os parafusos de fixação do braço superior para possibilitar o ajuste da posição do módulo.

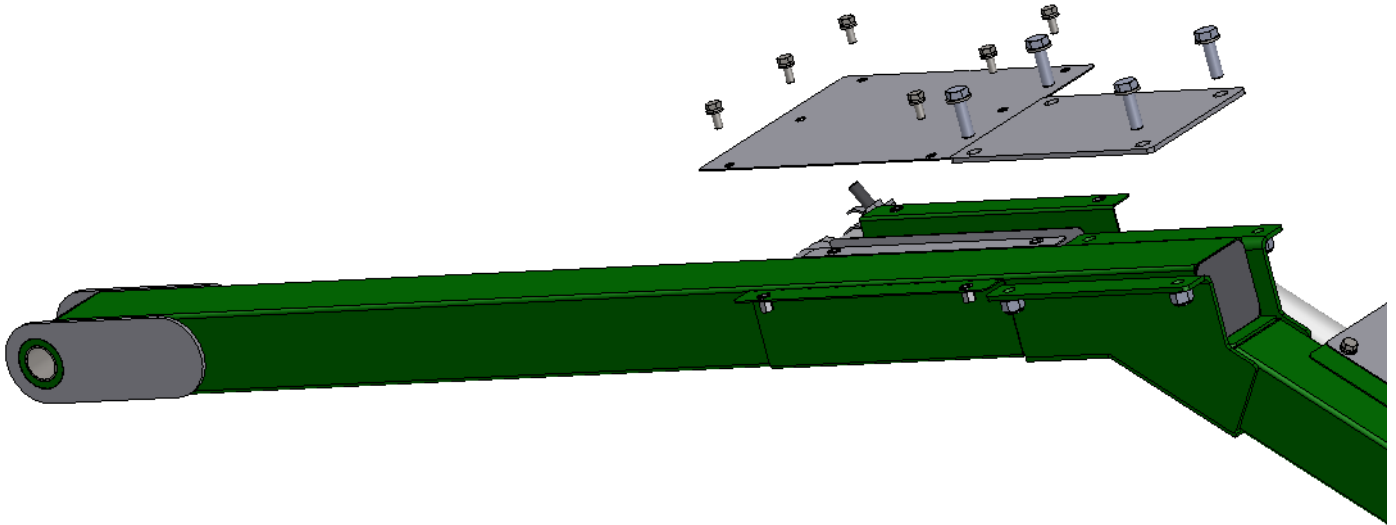


Figura 24 - Fixação do braço superior

Posicione o módulo de irrigação conforme necessário, movendo o conjunto até a posição desejada.

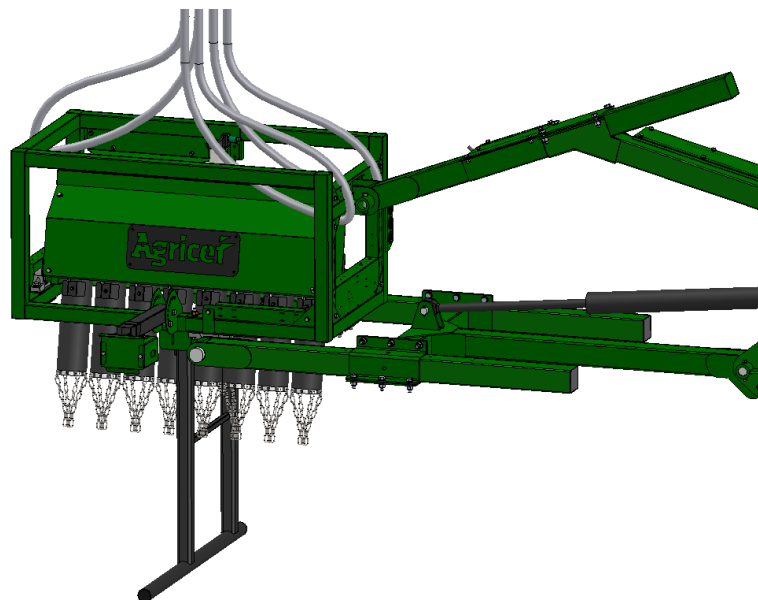


Figura 25 - Movimentação para posição desejada

Utilize o ponto de referência do braço inferior para realizar o ajuste correto do alinhamento.

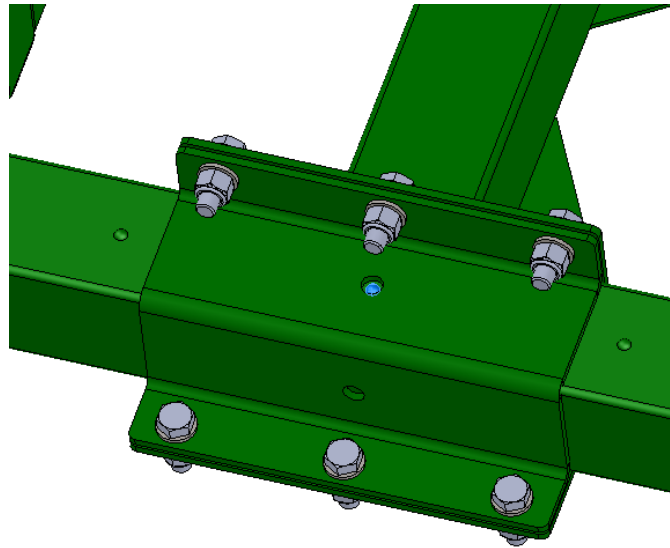


Figura 26 - Ajuste do braço inferior

Utilize os pontos de ajuste do braço superior para realizar o alinhamento fino do módulo.

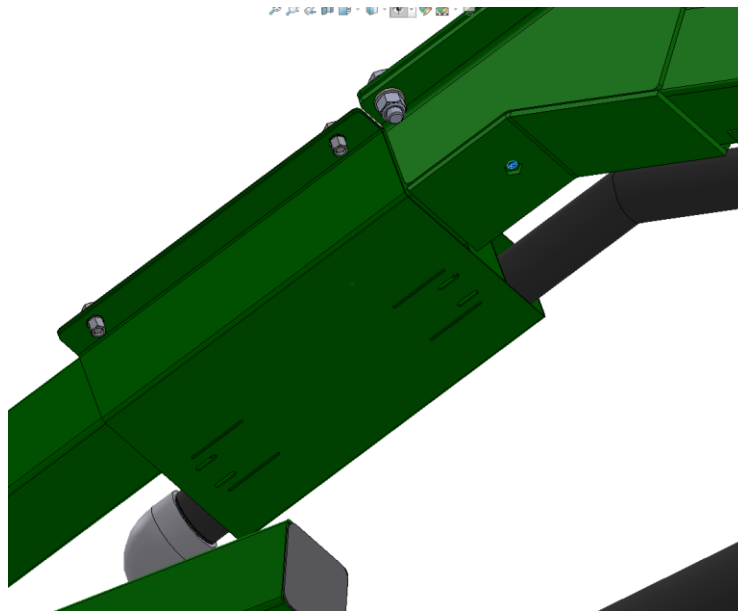


Figura 27 - Ajuste do braço superior

Após o ajuste, verifique se o módulo de irrigação está paralelo ao solo, garantindo o correto posicionamento do conjunto.

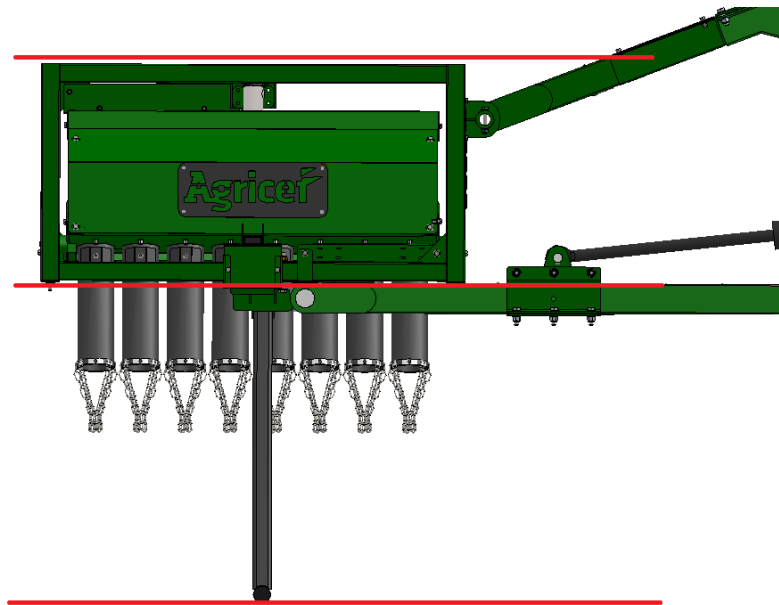


Figura 28 - Módulo paralelo ao solo

Ao final do procedimento, aperte novamente todos os parafusos de fixação dos braços, garantindo a firmeza e segurança do conjunto.

5.5.3. Desinstalação

Pré-requisito: Realize o desacoplamento em uma superfície plana, firme e nivelada.

- I. Antes de iniciar, insira os Pés de Apoio e a Trava da Articulação no implemento.
- II. Coloque apenas o pino inferior do pé de apoio.
- III. Reconecte as extensões das mangueiras hidráulicas (se usadas) para garantir o alcance dos cilindros.
- IV. Abaixue os braços de forma sincronizada e devagar, até que a base dos pés encoste firmemente no solo.
- V. Certifique-se de que os pés estejam perpendiculares ao solo para garantir a estabilidade.
- VI. Continue abaixando os braços lentamente até que o implemento se desacople completamente do para-choque, observando atentamente se nenhum cabo ou mangueira se enrosca.
- VII. Insira o pino que trava a articulação e o segundo pino do pé para travar o implemento e garantir sua estabilidade no solo.
- VIII. Desconecte todos os cabos elétricos e mangueiras hidráulicas e de água.
- IX. Saia devagar de ré com o trator.

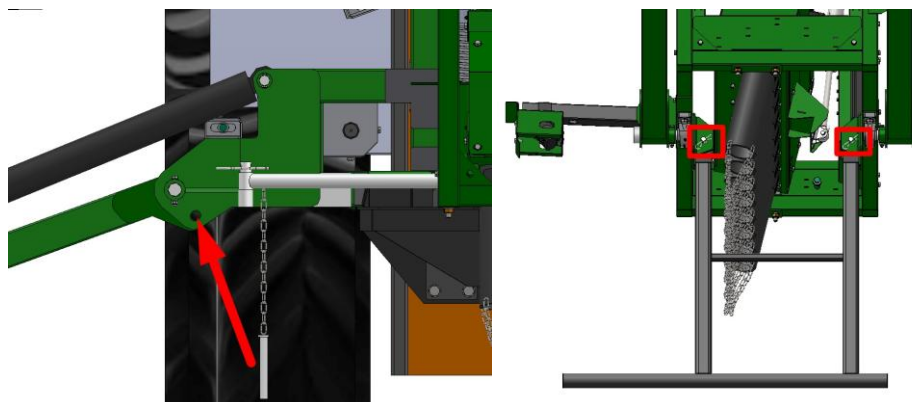


Figura 29 - Trava da articulação dos pés.

Os pés de apoio, quando não estiverem sendo utilizados, devem ser guardados conforme imagens a seguir:

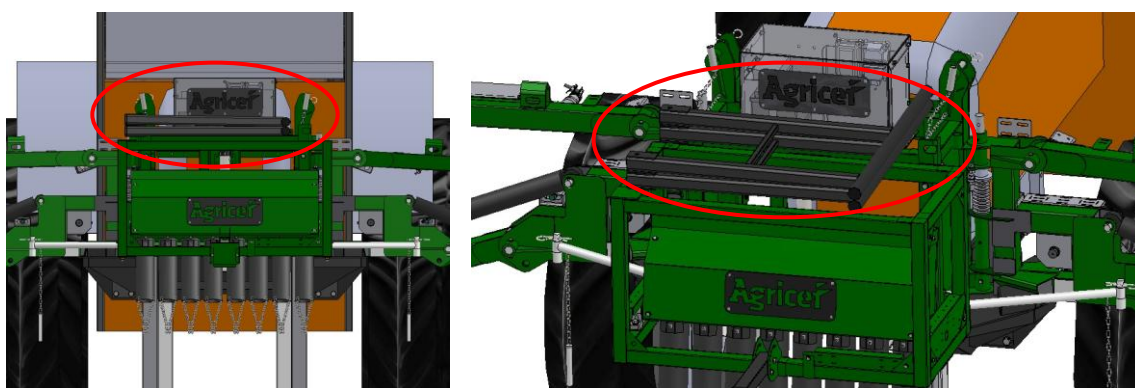


Figura 30 - Local correto para armazenagem dos pés.

5.6. Sistema de Desarme dos Braços

O IrrigAI possui um sistema de proteção articulado nos braços, projetado para minimizar danos em caso de colisões com os módulos laterais durante a operação. Esse mecanismo permite que, se um braço for empurrado para trás devido a um impacto, ele retorne manualmente à posição original sem comprometer a estrutura principal do equipamento.

Apesar dessa funcionalidade de segurança, é fundamental que o operador evite qualquer tipo de colisão, pois impactos podem causar danos a outras partes do implemento que não são cobertas pelo sistema de desarme, como mangueiras, cabos ou estruturas metálicas.

O conhecimento e a atenção do operador são essenciais: a ação preventiva garante a integridade do equipamento, prolonga sua vida útil e mantém a eficiência do sistema de irrigação. Sempre verifique a posição dos braços antes, durante e após a movimentação para assegurar que não haja obstruções ou riscos de colisão.

6. Interface Homem-Máquina (IHM) e Calibração Fina

A IHM (Interface Homem-Máquina) é o painel de controle eletrônico localizado na cabine do trator. Ela é essencial para o monitoramento da operação, o diagnóstico do sistema, o ajuste das calibrações de campo e a realização de testes de funcionamento.

6.1. Tela de Configurações de Linha

Esta tela permite definir quais módulos de irrigação estão ativos e realizar testes de velocidade.



Figura 31 - Configuração de ativação de linhas.

- **Velocidade Fixa:** Ao marcar esta opção, o sistema simula uma velocidade constante de 2,5 km/h. Este modo é ideal para testar o sistema de irrigação automática e validar a precisão da leitura da câmera ao passar sobre uma muda (Teste de Bancada ou Campo parado/lento).
- **Linha Esquerda, Linha Central, Linha Direita:** Permite ao operador ativar ou desativar cada linha de irrigação individualmente, o que é útil para manutenção ou para trabalhar em áreas com cultivo apenas em uma ou duas linhas.

6.1.1. Visualização e Monitoramento (Operação Normal)

Esta é a tela principal de monitoramento durante a operação de campo.

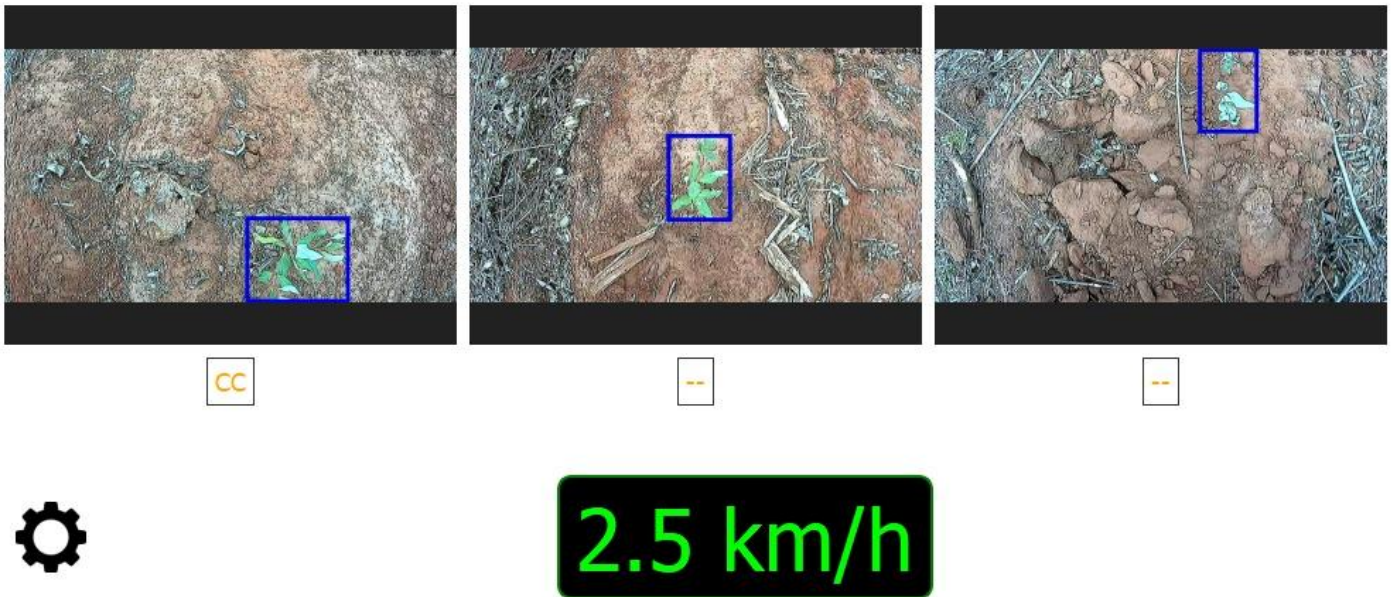


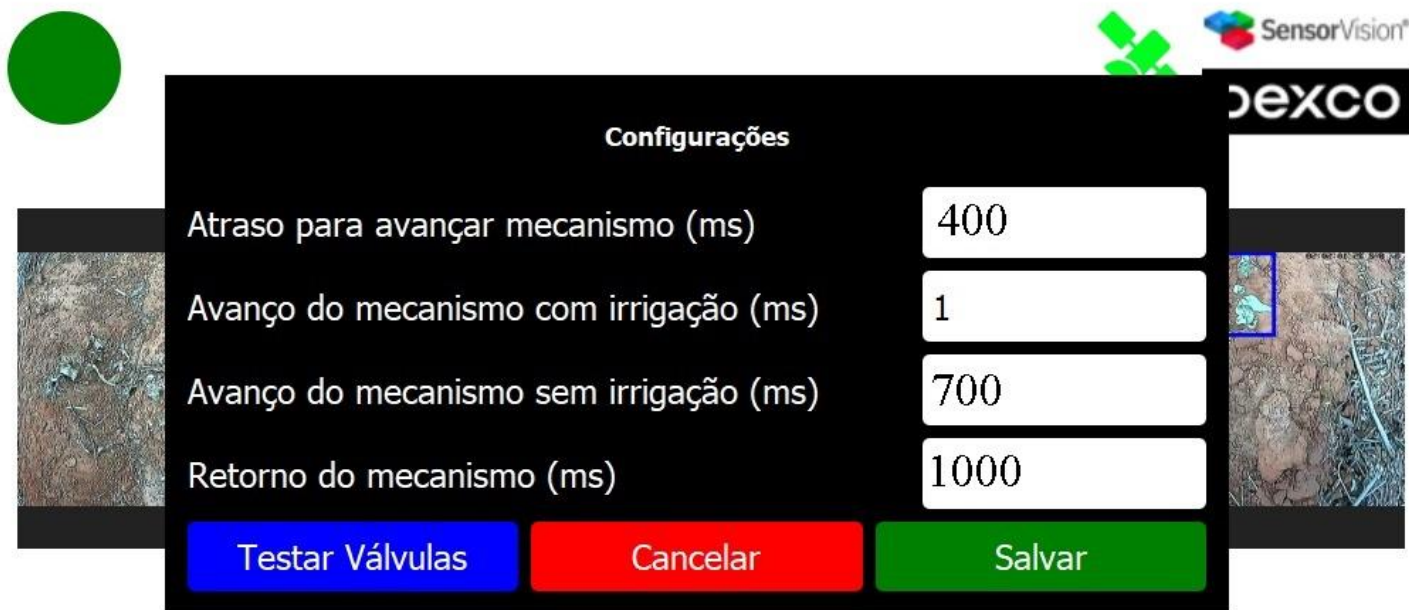
Figura 32 - Visualização em operação (monitoramento das 3 linhas)

É possível visualizar as imagens das câmeras das três linhas e confirmar a identificação das mudas (indicada pela caixa azul) em tempo real. Este monitoramento é essencial para o operador saber se o sistema de visão está funcionando corretamente.

6.1.2. Configuração do Ciclo de Compensação (Ajuste dos Tempos)

Esta tela é utilizada para a calibração fina da Compensação Longitudinal. É aqui que o operador ajusta os tempos do ciclo de aplicação e, f, g, h em milissegundos (ms).

- e: Válvula aberta (Atraso para avançar o mecanismo (ms))
- f: Válvula aberta durante avanço do mecanismo (Avanço do mecanismo com irrigação (ms))
- g: Avanço do mecanismo com válvula fechada (Avanço do mecanismo sem irrigação (ms))
- h: Retorno do mecanismo (ms)



2.5 km/h

Figura 33 - Configuração de tempos

Observação: Lembre-se que o tempo 'e' define o volume de água injetado. Consulte a Tabela de Calibração Avançada para os valores ideais de 'e, g, h' em diferentes condições de campo.

6.1.3. Formato dos Comandos de Tempo

Os tempos são definidos pela letra do comando seguida do tempo em milissegundos:

- e450 → a válvula abre por 450 ms
- f1 → a válvula fecha 1 ms após o início do movimento do cilindro
- g700 → tempo de movimentação do cilindro para trás
- h1200 → tempo de retorno do cilindro

Exemplos de ajustes:

- Digitar e600 → aumenta o tempo que a válvula permanece aberta
- Digitar g800 → aumenta o tempo de movimentação do cilindro para trás

6.2. Tempos Originais por Módulo

Tabela 8 - Tempos originais por módulo.

Módulo	e (ms)	f (ms)	g (ms)
Esquerdo	550	1	700
Central	500	1	700
Direito	450	1	700

6.3. Lista de Comandos

Os comandos 'e', 'f', 'g', 'h' são ferramentas de calibração de volume e sincronismo e devem ser usados apenas por pessoal treinado.

Tabela 9 - Lista de comandos.

Comando	Função
AA	Pulso nas válvulas 1 e 2
BB	Pulso nas válvulas 2 e 3
CC	Pulso nas válvulas 3 e 4
DD	Pulso nas válvulas 4 e 5
EE	Pulso nas válvulas 5 e 6
FF	Pulso nas válvulas 6 e 7
GG	Pulso nas válvulas 7 e 8
HH	Pulso em todas as válvulas (sem movimentação)
AM	Modo automático – sincroniza válvulas com a movimentação do cilindro
XM	Modo manual – comandos funcionam de forma individual
C1	Avança cilindro
C2	Recua cilindro
C0	Desliga cilindro
HH	Mostra configuração dos tempos

7. Diagramas

7.1. Diagrama Hidráulico Simplificado

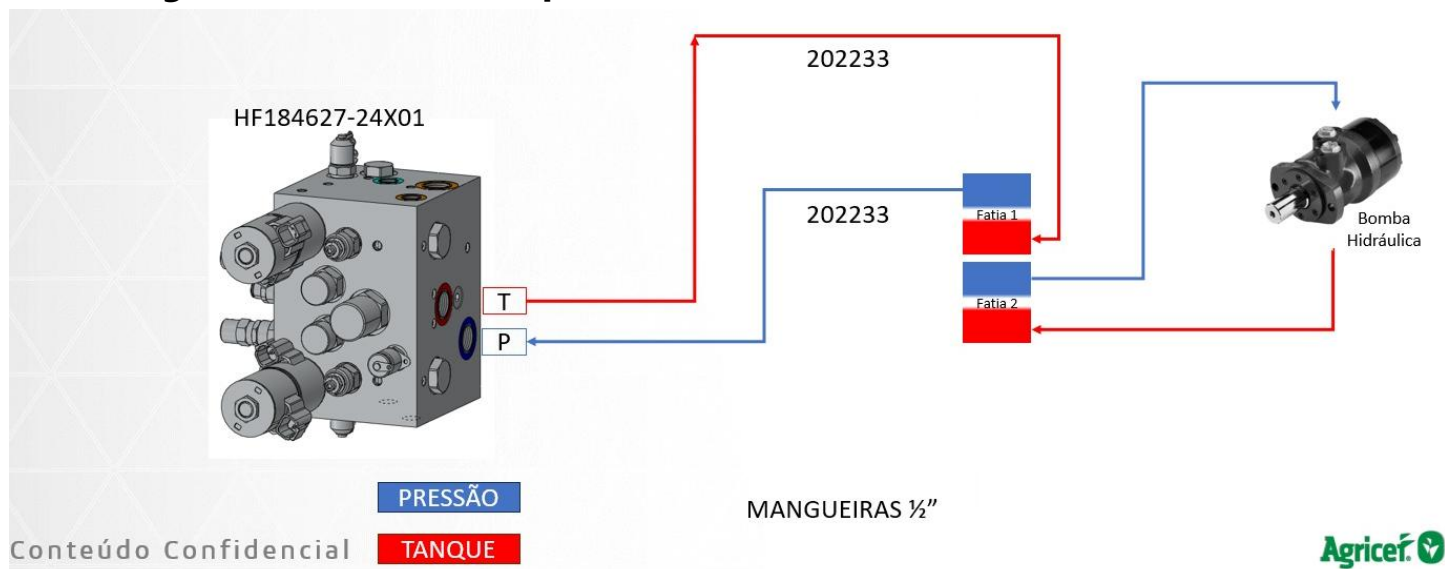


Figura 34 - Diagrama hidráulico dos blocos.

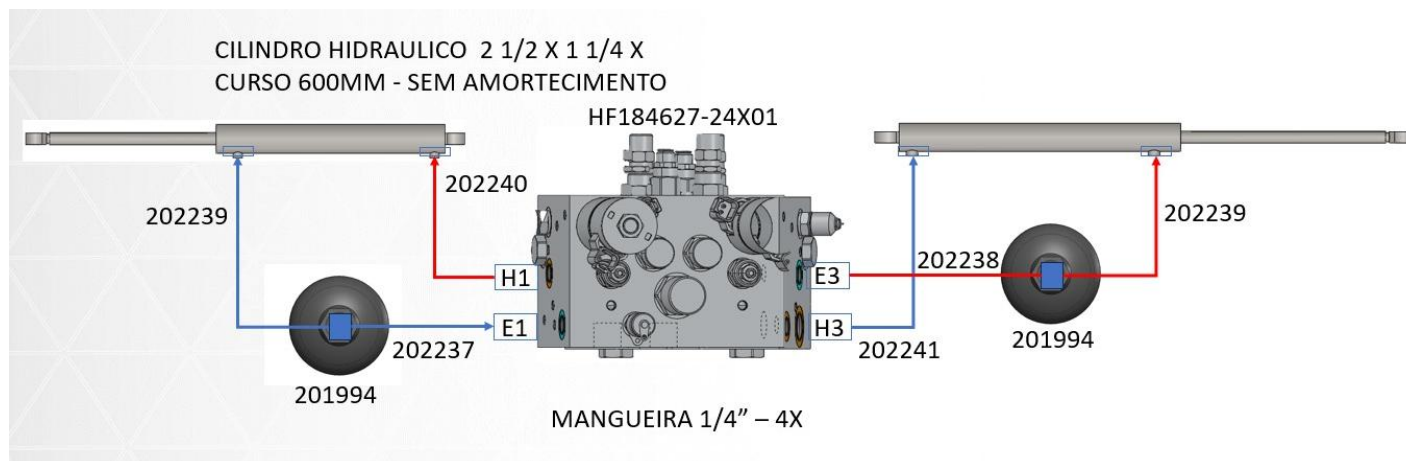


Figura 35 - Diagrama hidráulico dos cilindros dos braços.

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

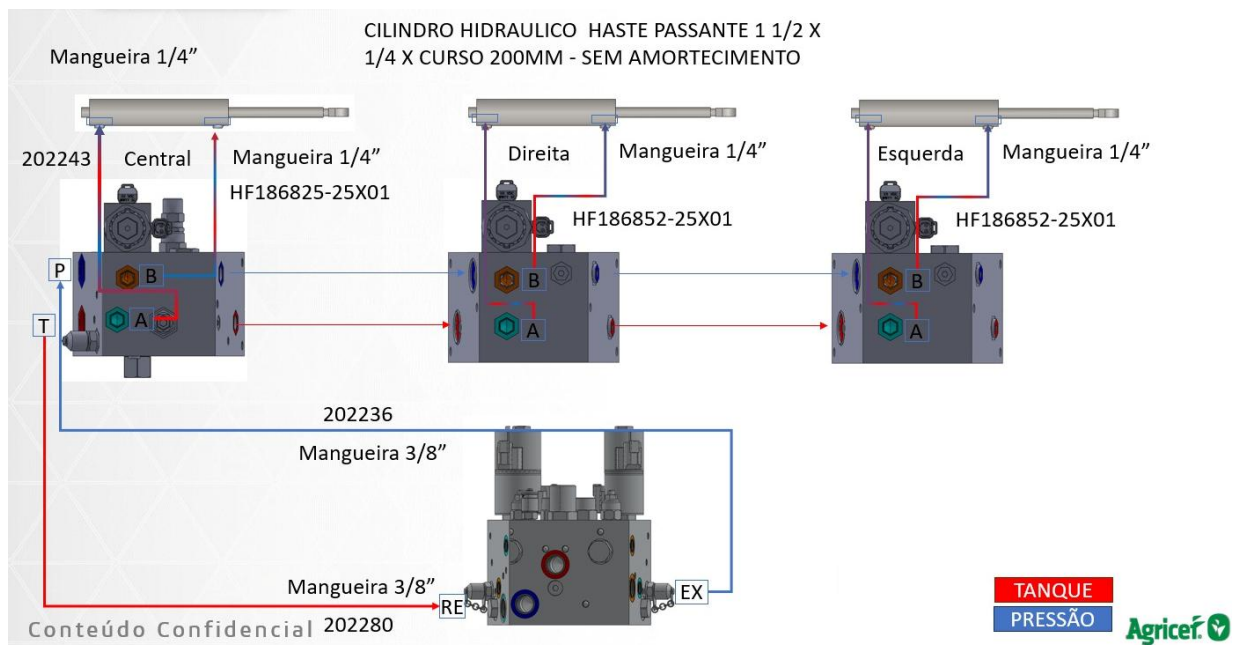


Figura 36 - Diagrama hidráulico dos cilindros de compensação.

7.2. Diagrama Elétrico Simplificado

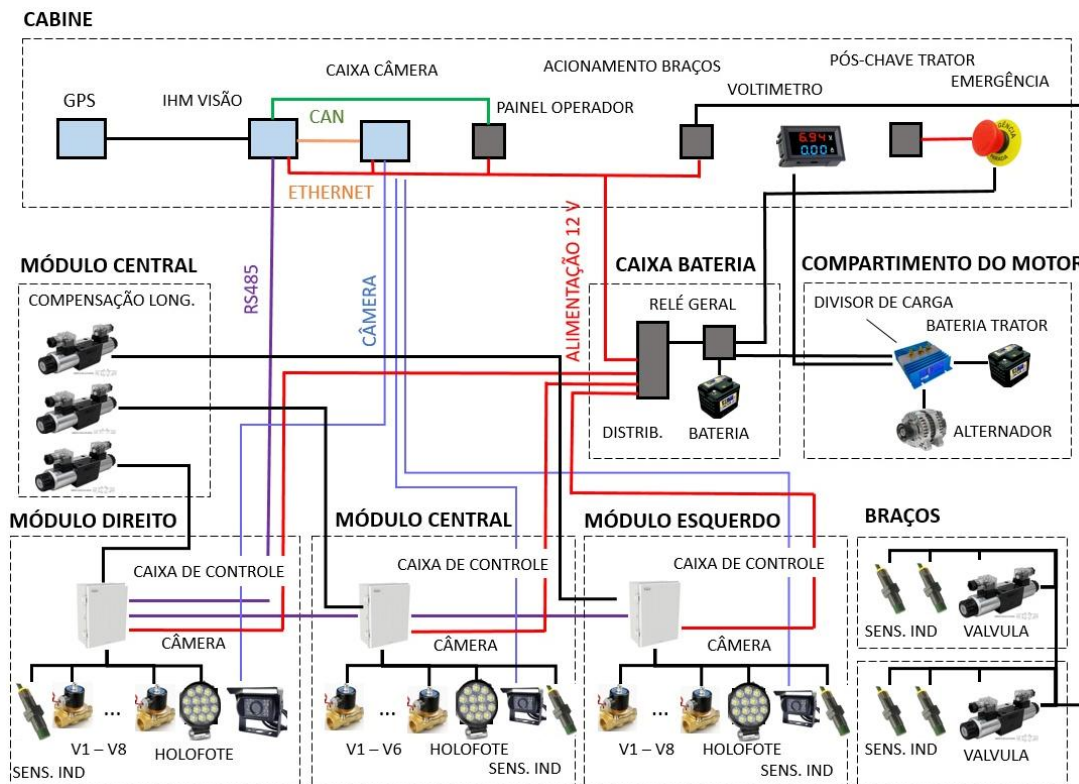


Figura 37 - Diagrama elétrico simplificado.

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

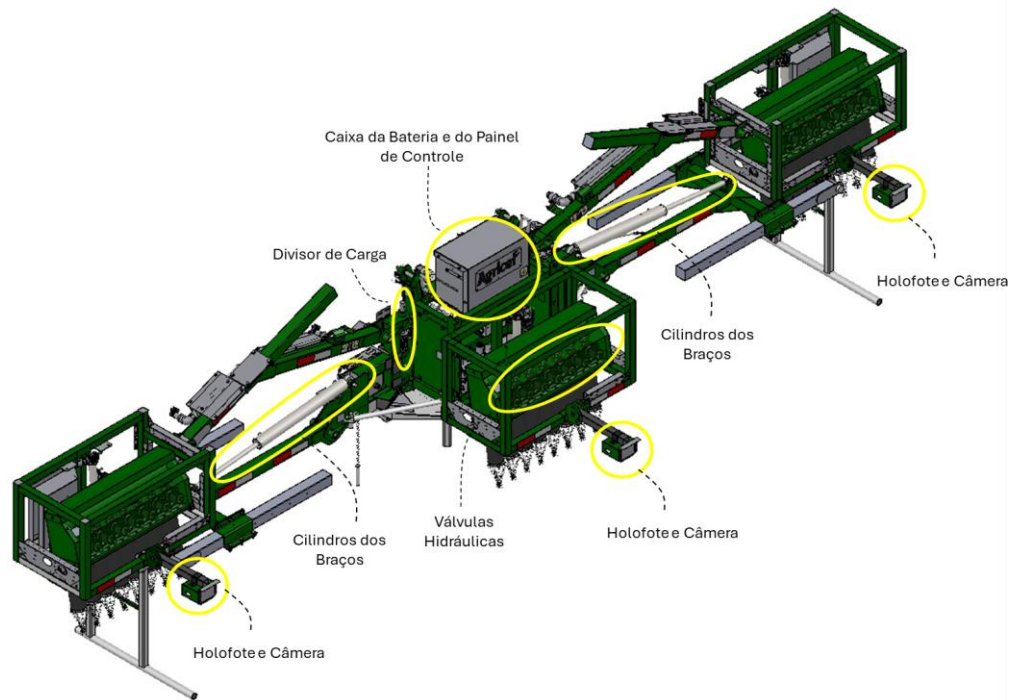


Figura 38 - Distribuição dos módulos, válvulas e cilindros hidráulicos.

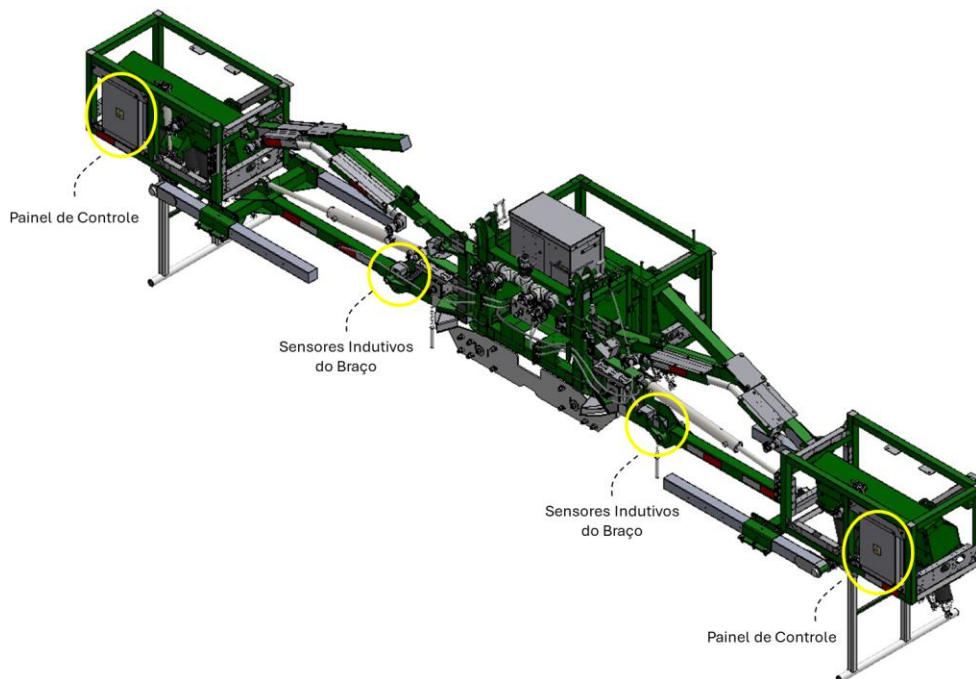


Figura 39 - Vista geral superior com identificação dos componentes eletrônicos e de controle.

8. Manutenção Preventiva

8.1. Limpeza do Filtro de Água

- Frequência: Diária, antes do início da jornada de trabalho, ou sempre que for observada uma queda na pressão da água ou o indicador de filtro sujo acender.
- Procedimento:
 - **⚠ ATENÇÃO:** Desligue a bomba de água e alivie a pressão do sistema antes de abrir o filtro.
 - Isolamento e Despressurização: Desligue a chave de acionamento da bomba de água. Abra a válvula de alívio (se disponível) para despressurizar o sistema de irrigação.
 - Abertura: Com o auxílio de ferramenta adequada (se necessário), desrosqueie ou abra o compartimento/câmara do filtro.
 - Remoção e Inspeção: Remova cuidadosamente o elemento filtrante (tela ou cartucho). Inspeccione a malha quanto a danos ou rasgos. Um filtro danificado deve ser substituído imediatamente.
 - Limpeza: Lave o elemento filtrante em água limpa corrente, utilizando uma escova de cerdas macias para remover resíduos, se necessário. Se houver acúmulo de material orgânico ou lama, utilize somente água limpa, nunca produtos químicos que possam danificar o elemento ou contaminar o sistema.
 - Remontagem: Posicione o elemento filtrante corretamente dentro da câmara. Verifique se o anel de vedação (o-ring) está limpo, lubrificado e bem assentado antes de fechar o compartimento.
 - Teste de Vazamento: Feche o compartimento, ligue a bomba e inspecione imediatamente o filtro para garantir que não haja vazamentos na vedação.



Figura 40 - Elemento filtrante.

8.2. Revisão das Válvulas de Irrigação

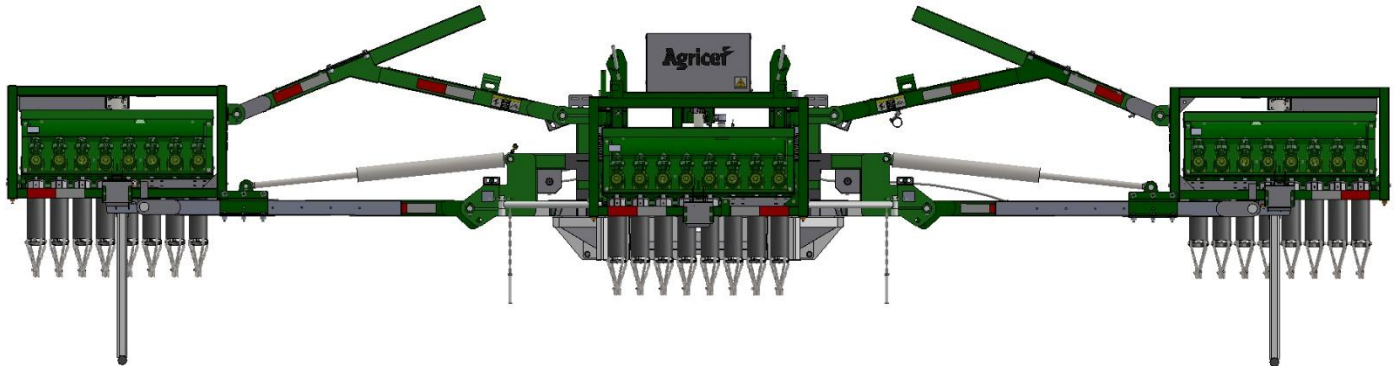


Figura 41 - Localização das Válvulas de Água

- Frequência: Diária, ou a cada 12 horas de operação, ou sempre que o sistema acusar falha de vazão ou gotejamento persistente.
- Procedimento:
 - **⚠ ATENÇÃO:** Desligue o sistema hidráulico e alivie a pressão antes de iniciar.
 - Desenergização e Despressurização: Desligue a chave geral do trator e certifique-se de que a bomba d'água esteja desativada. Acione o alívio de pressão do sistema de irrigação.
 - Remoção da Bobina Solenoide: Desconecte o chicote elétrico e remova cuidadosamente a bobina (atuador solenoide) do corpo da válvula.

8.3. Manutenção Preventiva da Válvula de Água

A manutenção regular do êmbolo da válvula de água é essencial para prevenir falhas de vedação e garantir a precisão do volume de água aplicado.

⚠ ADVERTÊNCIA DE SEGURANÇA: Certifique-se de que o sistema hidráulico de água esteja despressurizado e o trator desligado antes de iniciar este procedimento.

8.3.1. Desmontagem e Inspeção

- Acesso à Válvula: Localize a válvula de água no módulo de irrigação.
- Remoção da Bobina: Abra o parafuso superior da válvula e remova cuidadosamente a bobina.



Figura 42 - Abrir o parafuso superior da válvula e remover a bobina.

- Remoção do Êmbolo: Desrosqueie o êmbolo interno do corpo da válvula para removê-lo.

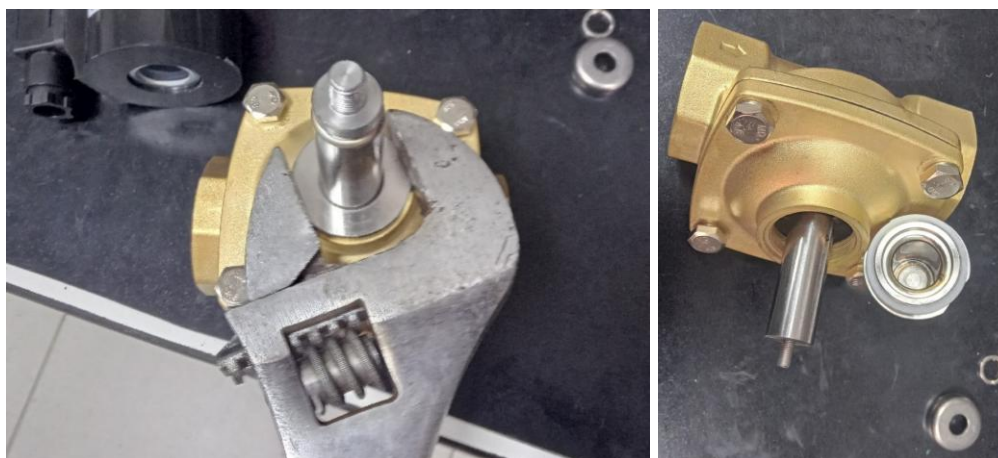


Figura 43 - Êmbolo desrosqueado e removido.

- Inspeção: Inspeccione o êmbolo e o corpo da válvula quanto a sinais de:
 - Corrosão ou acúmulo de detritos (partículas sólidas).
 - Desgaste ou danos nas superfícies de vedação.

8.3.2. Limpeza

- Método de Limpeza: Lave o corpo da válvula e o êmbolo apenas com água limpa pressurizada ou ar comprimido de baixa pressão.
- **⚠ Proibido:** NÃO utilize solventes, produtos químicos agressivos ou ferramentas abrasivas (como lixas ou escovas de aço), pois podem danificar as superfícies de vedação.

8.3.3. Remontagem

- Reinstalação do Êmbolo: Reinstale o êmbolo no corpo da válvula e aperte-o, garantindo que o conjunto esteja assentado corretamente.
- Instalação da Bobina: Recoloque a bobina e o parafuso superior.
- Aperto: Garanta o torque de aperto adequado na bobina para evitar vazamentos e falhas de vedação.



Figura 44 - Válvula montada.

8.4. Verificação do Sistema Hidráulico

- Frequência: Semanal, ou a cada 50 horas de operação do trator.
- Procedimento:
 - Requisitos: Trator em superfície plana, motor hidráulico ligado e pressurizado: Inspeção Visual (Mangueiras e Conexões): Inspeccione todas as mangueiras hidráulicas (incluindo as de compensação longitudinal e transversal) quanto a trincas, abrasão, bolhas, vazamentos ou pontos de esmagamento.
 - Temperatura e Ruído Anormal: Durante a operação, monitore o aquecimento excessivo das linhas hidráulicas e a presença de ruídos anormais na bomba ou nos cilindros, o que pode indicar cavitação ou desgaste interno.

Com o motor desligado:

- Verificação de Acoplamentos: Verifique se todos os engates rápidos e conexões estão firmemente acoplados e limpos, especialmente os o-rings.
- Verificação do Nível e Qualidade do Fluido: Consulte o indicador de nível do tanque hidráulico do trator. Se for necessário completar, utilize apenas o fluido especificado pelo fabricante do trator (Ex: ISO VG 46, ou conforme o manual). A mistura de fluidos incompatíveis pode causar danos aos vedantes e bombas.

8.5. Verificação dos Eixos Mecânicos

- Frequência: A cada 15 dias, ou após 100 horas de operação em condições de alta poeira/umidade.
- Procedimento:
 - Identificação dos Pontos: Localize todas as engraxadeiras nos eixos de articulação (braços laterais e mecanismo de compensação transversal).
 - Especificação do Lubrificante: Utilize Graxa à base de Lítio (NLGI 2) ou o lubrificante especificado pelo fabricante, garantindo resistência à água e estabilidade térmica.
 - Aplicação: Utilize uma bomba de graxa manual/pneumática. Injete graxa lentamente até que um pequeno excesso comece a sair pelas extremidades do mancal ou pino. Isso garante que a sujeira e a graxa velha foram expelidas.
 - Limpeza: Remova o excesso de graxa da superfície com um pano limpo para evitar o acúmulo de poeira e detritos.

9. Solução de Problemas

Esta seção apresenta os problemas mais comuns que podem ocorrer durante a operação do equipamento, suas possíveis causas e as soluções recomendadas. O objetivo é fornecer orientações práticas para a identificação rápida de falhas e a execução de ações corretivas, garantindo o funcionamento eficiente do sistema de irrigação e minimizando períodos de inatividade.

9.1. Vazão Insuficiente (Pouca Água nas Válvulas)

- Possível Causa:
 - Pressão da linha hidráulica/água baixa.
 - Filtro principal ou filtros dos módulos de irrigação entupidos.
 - Ajuste incorreto no tempo de pulso (Comando 'e').
- Solução:
 - Verifique o manômetro: A pressão deve ser de 2 bar. Se baixa, ajuste a vazão da bomba do trator (RPM ou regulador).
 - Realize a limpeza do filtro principal (Diária, conforme item 8.1).
 - Aumente o valor do Comando 'e' (tempo de abertura da válvula) via IHM para calibrar o volume.

9.2. Falha de Aplicação (Não Sai Água)

- Possível Causa:
 - Sistema de irrigação desativado (Modo Manual ou OFF).
 - Falha no sensor de segurança ou no disjuntor principal.
 - Entupimento grave na válvula.

- Solução:
 - Confirme na IHM que o sistema está em Modo Automático (Comando AM) e que o botão de irrigação está acionado.
 - Verifique os fusíveis e o botão de emergência.
 - Inspeção a bobina (atuador) da válvula. Se energizada, realize a limpeza completa da válvula e do êmbolo.

9.3. Válvula de Água Não Fecha (Gotejamento)

- Possível Causa:
 - Obstrução mecânica (partícula sólida presa no assento).
 - Falha no atuador solenoide (bobina).
 - Problema de vedação no êmbolo.
- Solução:
 - Despressurize o sistema e realize a limpeza do êmbolo e do assento da válvula (Seção 8.2).
 - Se persistir, teste a continuidade e a resistência elétrica da bobina (atuador) com multímetro. Se fora de especificação, substitua a bobina.
 - Se a bobina estiver OK, substitua o conjunto de vedação da válvula.

9.4. Falha na Identificação das Mudanças

- Possível Causa:
 - Câmera desalinhada ou suja.
 - Iluminação inadequada ou ângulo de visão incorreto.
 - Mudanças fora do padrão de treinamento do sistema. Mudanças maiores ou menores do que o sistema foi treinado impedem o reconhecimento.
- Solução:
 - Limpe a lente da câmera. Ajuste o ângulo de inclinação conforme o gabarito.
 - Verifique a altura do implemento em relação ao solo. A velocidade de deslocamento deve ser abaixo de 2,5 km/h.
 - Se o problema for persistente em diferentes condições, contate o suporte técnico para verificar a necessidade de uma atualização do firmware do módulo de Visão Computacional (AgroCAM).

9.5. Compensação Longitudinal Inoperante

- Possível causa:
 - Falha no sistema hidráulico de óleo.
 - Entupimento do sistema hidráulico de óleo.
 - Problemas mecânicos com o cilindro de compensação.
 - Falha no sistema elétrico (mal contato ou conexão rompida).
 - Falha na placa eletrônica ECU.
- Solução:
 - Primeiro, rodar um teste para saber se o problema está em um ou mais cilindros
 - Verificar continuidade do sistema elétrico com multímetro na válvula responsável pelo cilindro.
 - Desconectar as mangueiras do cilindro e mover manualmente para verificar se tem algum problema mecânico.
 - Caso o cilindro não esteja travado, trocar as mangueiras dos blocos hidráulicos com outro cilindro de compensação que esteja funcionando para saber se o problema é hidráulico.

9.6. Volume de Água Aplicado Inconsistente

- Possível Causa:
 - Variação da velocidade linear do trator (v) acima do limite de compensação.
 - Calibração incorreta do tempo de pulso (Comando 'e') para a pressão atual.
- Solução:
 - Mantenha a velocidade de deslocamento do trator constante e dentro da faixa de 2,5 km/h para permitir a Compensação Longitudinal.
 - Verifique a pressão (2 bar). Se a pressão foi alterada, recalibre o Comando 'e' no software para garantir a dose mínima de 4 litros.

Manual do Operador

Equip.: IrrigAI – Irrigador Inteligente

Versão: 01

Data Emissão: 13/11/2025

Data Revisão: 07/05/2025

10. Controle de Revisões

Número	Motivo	Responsável	Data
00	Elaboração do documento.	Yasmin Boiago	13/11/2025
01	Atualização das figuras do Manual conforme novo projeto do IrrigAI com braços articulados.	Yasmin Boiago	07/05/2026
02	Inclusão do item Ajuste do Braço do Módulo de Irrigação (5.5.2) e atualização do item Calibração do Volume de Água do IrrigAI (5.3.2)	Yasmin Boiago	26/05/2026

Número	Elaborado	Revisado	Aprovado
00	Yasmin Boiago	Bruno Souza	José Leonardo
01	Yasmin Boiago	Bruno Souza e Jefferson Ferreira	José Leonardo
02	Yasmin Boiago	Bruno Souza e Jefferson Ferreira	José Leonardo

11. Anexos

Não existentes.