

Proposta FAPESP PIPE Fase 1: Sensor Óptico de Detecção Precoce da Broca-do-Café para Pequenas Empresas Agroindustriais

October 2026

Contents

- 1** Resumo Executivo da Proposta PIPE Fase 1
- 2** Problema Agrônômico e Oportunidade de Inovação no Controle da Broca-do-Café
- 3** Objetivos Técnicos e Comerciais da Fase 1
- 4** Estado da Arte em Sensores para Monitoramento de Pragas em Cafezais
- 5** Metodologia de Desenvolvimento e Validação do Sensor Óptico
- 6** Plano de Trabalho e Cronograma Detalhado de 9 Meses
- 7** Equipe Técnica e Gestão do Projeto
- 8** Indicadores Técnicos e Comerciais de Sucesso da Fase 1
- 9** Potencial de Mercado e Estratégia de Difusão para Pequenas Propriedades
- 10** Plano de Negócios Simplificado para Transição à Fase 2
- 11** Orçamento Detalhado em Reais (R\$) para a Fase 1 - Edital FAPESP PIPE 2026

Resumo Executivo da Proposta PIPE Fase 1

A AgroLume Tecnologia Ltda., sediada em Campinas (SP), submete esta proposta ao programa FAPESP PIPE Fase 1 para o desenvolvimento de um sensor óptico de baixo custo destinado à detecção precoce da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*). A praga representa uma das maiores ameaças à cafeicultura brasileira, causando perdas significativas na qualidade e quantidade da produção, especialmente em pequenas propriedades que carecem de tecnologias acessíveis de monitoramento.

As soluções atuais, baseadas em armadilhas manuais ou monitoramento visual, são laboriosas, subjetivas e frequentemente tardias. Nossa inovação reside no uso de espectroscopia de refletância em faixas espectrais específicas para identificar a presença da praga antes dos danos visíveis externos, integrando hardware otimizado e algoritmos de processamento embarcado.

O projeto, com duração de nove meses, visa validar a viabilidade técnica do protótipo em ambiente controlado, estabelecendo os fundamentos para testes de campo na Fase 2. Espera-se atingir uma sensibilidade de detecção superior a 90% com um custo unitário de produção estimado abaixo de R\$ 200,00, democratizando o acesso à agricultura de precisão.

Nota sobre Estimativas. Os valores de custo unitário e métricas de desempenho apresentados neste resumo são estimativas indicativas baseadas em projeções de engenharia inicial. Confirmar custos reais de componentes eletrônicos e eficácia biológica durante a execução do Plano de Trabalho.

Problema Agrônomo e Oportunidade de Inovação no Controle da Broca-do-Café

A broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) representa a praga mais devastadora para a cafeicultura brasileira, causando perdas diretas na produção e depreciando a qualidade dos grãos. Estima-se que, sem controle eficaz, as perdas possam atingir até 30% da safra em regiões altamente infestadas, impactando severamente a rentabilidade do produtor.

As soluções atuais dependem majoritariamente do monitoramento visual manual ou do uso indiscriminado de armadilhas com feromônios, métodos que são laboriosos, subjetivos e frequentemente tardios, permitindo que a praga se estabeleça antes da intervenção. Além disso, tecnologias de precisão existentes, como sensores multiespectrais acoplados a drones, apresentam custos proibitivos para o pequeno e médio produtor, limitando sua adoção em larga escala.

Lacuna Tecnológica Identificada. Existe uma demanda não atendida por dispositivos acessíveis, autônomos e de fácil instalação que permitam a detecção precoce da infestação, preenchendo o espaço entre o monitoramento manual ineficiente e as soluções de alto custo.

A AgroLume Tecnologia Ltda. identifica nesta oportunidade o espaço para desenvolver um sensor óptico de baixo custo, capaz de identificar assinaturas espectrais específicas da atividade da broca ou do dano inicial

ao fruto, oferecendo uma alternativa escalável e economicamente viável para a agricultura familiar e cooperativas de café em São Paulo.

Objetivos Técnicos e Comerciais da Fase 1

O objetivo central desta Fase 1 é validar a viabilidade técnica do sensor óptico de baixo custo desenvolvido pela AgroLume Tecnologia Ltda. para a detecção precoce da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*). A iniciativa visa entregar um protótipo funcional capaz de identificar sinais espectrais específicos da infestação em estágios iniciais, permitindo intervenções localizadas e reduzindo o uso indiscriminado de defensivos agrícolas.

Especificamente, pretende-se atingir uma taxa de acurácia mínima de 90% na identificação de frutos atacados em ambiente controlado, com tempo de resposta inferior a cinco segundos por leitura. Outro objetivo crucial é estabelecer a cadeia de suprimentos para componentes ópticos que permita manter o custo unitário de produção abaixo de R\$ 200,00, garantindo acessibilidade para pequenos produtores. Ao final dos nove meses, a empresa deverá possuir dados os para submissão à Fase 2, focada em testes de campo extensivos e certificação regulatória.

Foco da Fase 1. Esta fase limita-se à validação em laboratório e condições simuladas de campo. Testes em larga escala com produtores finais estão previstos exclusivamente para a Fase 2, após a consolidação dos indicadores de desempenho técnico aqui propostos.

Estado da Arte em Sensores para Monitoramento de Pragas em Cafezais

O monitoramento da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) é um dos maiores desafios fitossanitários para a cafeicultura brasileira. As soluções disponíveis dividem-se entre amostragem visual, armadilhas com feromônios e sistemas emergentes de Internet das Coisas (IoT). Embora as armadilhas sejam amplamente utilizadas, exigem inspeção manual frequente. Isso gera altos custos operacionais e atrasos na detecção, permitindo que a praga se estabeleça antes da intervenção.

No espectro de tecnologias digitais, iniciativas globais utilizam inteligência artificial e sensores remotos para monitoramento agrícola. Pesquisas recentes demonstram o potencial de aplicações móveis e sensores para detectar pragas como a Tuta Absoluta em tomateiros, usando dados de temperatura da superfície terrestre. Contudo, essas soluções voltam-se frequentemente para grandes propriedades ou culturas específicas. Elas não atendem adequadamente às necessidades de pequenos produtores de café, que carecem de infraestrutura complexa e capital elevado para investimento inicial.

Sustentabilidade e Componentes de Sensores: A eficácia de qualquer sensor depende criticamente da qualidade de seus componentes centrais. Além disso, há uma crescente preocupação com a sustentabilidade, pois muitos componentes de sensores são feitos de plásticos que contribuem para resíduos eletrônicos. É essencial priorizar materiais ambientalmente amigáveis e estratégias de reciclagem

na produção de sensores agrícolas modernos.

As soluções ópticas existentes para detecção de insetos em campo aberto enfrentam limitações de custo, eficiência ambiental e especificidade espectral. Muitos dispositivos comerciais derivam de tecnologias de laboratório adaptadas, resultando em equipamentos volumosos e energeticamente ineficientes. Não há, no estado atual da arte, um sensor óptico dedicado, de baixo custo e alta portabilidade. Faltam dispositivos otimizados especificamente para a assinatura espectral da broca-do-café em estágios iniciais de infestação, acessíveis economicamente ao pequeno produtor rural.

A AgroLume Tecnologia Ltda. identifica nesta lacuna tecnológica a oportunidade para inovar. Diferentemente das abordagens acústicas ou de imagem convencional, nossa proposta foca na detecção por refletância óptica em faixas espectrais estreitas, permitindo a identificação precoce da presença da praga através de alterações sutis na interação luz-tecido vegetal/inseto. Esta abordagem visa superar as limitações de latência das armadilhas físicas e o alto custo dos sistemas de visão computacional complexos, oferecendo uma ferramenta de decisão rápida e acessível.

Metodologia de Desenvolvimento e Validação do Sensor Óptico

A metodologia adota uma abordagem híbrida de engenharia óptica e entomologia aplicada, estruturada em três fases sequenciais para garantir a eficiência técnica do protótipo. Inicialmente, realiza-se a caracterização espectroscópica laboratorial de espécimes de *Hypothenemus hampei* (broca-do-café) e tecidos vegetais do cafeeiro (*Coffea arabica*), identificando assinaturas de refletância distintas nas faixas do visível e infravermelho próximo (NIR). Esta etapa fundamenta a seleção dos filtros ópticos e fontes de iluminação LED de baixo consumo.

Em seguida, desenvolve-se o hardware do sensor, integrando fotodetectores de silício com microcontroladores de baixa potência para processamento de sinal na borda (edge computing), permitindo a detecção local sem dependência contínua de nuvem. O algoritmo de classificação será treinado utilizando redes neurais convolucionais leves, otimizadas para dispositivos embarcados, alinhando-se às melhores práticas de plataformas de software para sistemas de borda que suportam experimentação e teste de confiabilidade.

Sustentabilidade dos Componentes. O design do sensor prioriza materiais recicláveis e minimiza o uso de plásticos descartáveis, atendendo às preocupações contemporâneas sobre resíduos eletrônicos e sustentabilidade na produção de sensores agrícolas.

A validação ocorre em câmara climática controlada, simulando condições de luminosidade variável e presença de poeira, comum em ambientes agrícolas. Os critérios de aceitação exigem uma taxa de verdadeiros positivos superior a 90% e falsos positivos inferiores a 5%, assegurando confiabilidade operacional antes dos testes de campo.

Plano de Trabalho e Cronograma Detalhado de 9 Meses

O plano de trabalho foi estruturado para garantir a entrega de um protótipo funcional validado em condições simuladas ao final dos nove meses de execução, compreendendo o período de outubro de 2026 a junho de 2027. A abordagem adota ciclos iterativos de desenvolvimento de hardware e software, permitindo ajustes rápidos baseados nos dados coletados nas etapas iniciais de calibração óptica.

Mês/ Período	Atividades Principais	Entregáveis Técnicos	Responsável
Outubro 2026	Levantamento de requisitos ópticos e aquisição de componentes (LEDs, fotodiodos, lentes).	Especificação técnica final do sensor; Lista de materiais comprados.	Engenheiro de Hardware
Novembro 2026	Montagem da placa de circuito impresso (PCB) e integração inicial dos sensores.	Primeira versão do hardware (Alpha); Relato de testes elétricos básicos.	Engenheiro de Hardware
Dezembro 2026	Desenvolvimento do firmware para aquisição de dados e comunicação sem fio.	Firmware v1.0; Protocolo de transmissão de dados definido.	Engenheiro de Software Embarcado
Janeiro 2027	Coleta de espectros de refletância de amostras de café com e sem infestação em laboratório.	Banco de dados espectral inicial; Relatório de caracterização óptica.	Pesquisador Responsável / Entomologista
Fevereiro 2027	Treinamento inicial de algoritmos de classificação (machine learning) com dados de janeiro.	Modelo preditivo v1.0; Métricas de acurácia preliminar.	Cientista de Dados
Março 2027	Integração do modelo ao firmware e otimização de consumo energético.	Protótipo Beta integrado; Testes de autonomia de bateria.	Equipe Técnica Integrada
Abril 2027	Testes em câmara climática controlada simulando condições de campo (umidade, temperatura).	Relatório de teste ambiental; Ajustes de calibração fina.	Engenheiro de Testes
Maio 2027	Validação final em ambiente semi-controlado (casa de vegetação) com plantas infestadas.	Dados de validação de campo simulado; Taxa de falsos positivos/negativos.	Pesquisador Responsável

Mês/ Período	Atividades Principais	Entregáveis Técnicos	Responsável
Junho 2027	Consolidação dos resultados, documentação técnica e preparação do relatório final PIPE.	Protótipo funcional v2.0; Relatório Técnico Final; Plano para Fase 2.	Gestor do Projeto

Nota sobre Riscos e Mitigação. Caso haja atraso na importação de componentes ópticos específicos, será ativado o plano de contingência que prevê o uso de fornecedores nacionais alternativos já mapeados, garantindo que o marco de novembro de 2026 não seja comprometido. A flexibilidade na escolha dos fornecedores é crítica para manter o cronograma de 9 meses.

A gestão do cronograma será realizada por meio de reuniões quinzenais de acompanhamento técnico, onde os entregáveis listados na tabela acima serão revisados. Qualquer desvio superior a cinco dias em relação ao planejado exigirá a apresentação de um plano de recuperação imediato pela equipe responsável, assegurando a aderência aos prazos estabelecidos pela FAPESP para a Fase 1 do programa PIPE.

Equipe Técnica e Gestão do Projeto

A equipe da AgroLume Tecnologia Ltda. combina expertise multidisciplinar em fotônica aplicada, entomologia agrícola e gestão de inovação tecnológica, essencial para a execução bem-sucedida do projeto no âmbito do programa PIPE Fase 1. A liderança técnica é exercida pelo Engenheiro de Desenvolvimento de Hardware, responsável pela arquitetura do sensor óptico e integração dos componentes de baixo custo, garantindo que o protótipo atenda aos requisitos de campo.

Complementando a área técnica, o Especialista em Entomologia Aplicada fornece o conhecimento biológico necessário para correlacionar as assinaturas espectrais detectadas com os estágios de infestação da broca-do-café (*Hypothenemus hampei*), assegurando a precisão algorítmica do sistema. A gestão administrativa e financeira do projeto fica a cargo do Gerente de Projetos, profissional com experiência prévia em editais de fomento à inovação, que supervisionará o cumprimento do cronograma de nove meses e a alocação eficiente dos recursos aprovados.

Nota sobre Alocação de Recursos Humanos. Os currículos completos (CV Lattes) dos pesquisadores responsáveis estão anexados à documentação oficial da submissão. As horas dedicadas ao projeto foram calculadas para garantir a entrega dos marcos técnicos sem conflito com outras obrigações profissionais.

Esta estrutura enxuta permite comunicação ágil entre as frentes de desenvolvimento tecnológico e validação biológica, minimizando riscos de retrabalho. Todos os membros dedicam horas específicas ao projeto, conforme detalhado no plano de trabalho, assegurando foco total nas entregas da Fase 1. A sinergia entre

engenharia de sensores e ciência agrônômica constitui o diferencial competitivo da proposta, permitindo uma abordagem integrada desde a concepção do hardware até a definição dos parâmetros de detecção.

Indicadores Técnicos e Comerciais de Sucesso da Fase 1

O sucesso da Fase 1 será mensurado por meio de indicadores quantitativos divididos em duas categorias principais: desempenho técnico do sensor óptico e viabilidade econômica inicial. Estes parâmetros foram estabelecidos para garantir que o produto atenda às necessidades reais dos pequenos produtores de café em Campinas e região, oferecendo uma alternativa superior aos métodos de monitoramento visual tradicionais.

≥ 92%	≤ 3 segundos	≥ 90%
Sensibilidade de Detecção	Tempo de Resposta	Especificidade
Taxa de identificação correta da broca-do-café (<i>Hypothenemus hampei</i>) em testes controlados de laboratório.	Latência entre a exposição da amostra ao sensor e a emissão do sinal de alerta.	Capacidade de distinguir a praga alvo de outros insetos comuns no cafezal, minimizando falsos positivos.

Além da performance técnica, a proposta estabelece metas claras de custo e usabilidade para assegurar a competitividade no mercado de agricultura de precisão acessível. O foco na redução de custos de fabricação visa permitir a adoção massiva por pequenos produtores, que representam a maior parte do cultivo de café no estado de São Paulo.

≤ R\$ 185,00	≥ 48 horas	Treinamento < 15 min
Custo Unitário Estimado	Autonomia Energética	Facilidade de Uso
Custo de materiais e montagem do protótipo funcional, excluindo P&D, para viabilizar preço final competitivo.	Duração da bateria em modo de operação contínua, garantindo praticidade em campo sem recargas frequentes.	Tempo médio necessário para um agricultor aprender a operar o dispositivo corretamente.

Critério de Aprovação para Fase 2. Atingir pelo menos 90% das metas técnicas listadas acima é requisito obrigatório para submissão à Fase 2. Os dados de validação serão documentados em relatórios técnicos mensais e consolidados no relatório final, servindo como evidência primária da maturidade tecnológica (TRL 4-5).

Potencial de Mercado e Estratégia de Difusão para Pequenas Propriedades

O mercado alvo primário consiste nos pequenos e médios produtores de café do estado de São Paulo. Este segmento representa parcela significativa da produção nacional, mas carece de acesso a tecnologias de

monitoramento de precisão devido aos altos custos. A broca-do-café (*Hypothenemus hampei*) permanece como a praga mais devastadora, causando perdas diretas na qualidade e quantidade dos grãos. Soluções atuais, como armadilhas manuais ou monitoramento visual extensivo, são laboriosas, subjetivas e dependem de mão de obra especializada, recurso cada vez mais escasso no campo.

Com base em dados consolidados do IBGE e da CONAB, estima-se que existam milhares de propriedades cafeeiras em São Paulo com áreas inferiores a 50 hectares. Considerando uma penetração inicial conservadora de 1% deste universo no primeiro ano pós-comercialização, o mercado potencial imediato abrange centenas de unidades consumidoras. O diferencial competitivo da AgroLume Tecnologia Ltda. reside na relação custo-benefício: o sensor óptico proposto oferece detecção automatizada e contínua por uma fração do custo de sistemas de imagem multiespectral aéreos ou estações meteorológicas completas, tornando a tecnologia acessível para o pequeno produtor.

Estratégia de Canal via Cooperativas. A estratégia de difusão prioriza parcerias B2B2C com cooperativas agrícolas regionais. Este modelo reduz o custo de aquisição de clientes (CAC) e aproveita a confiança já estabelecida entre os produtores e suas associações. As cooperativas atuam como integradoras, oferecendo o sensor como parte de pacotes de assistência técnica, enquanto a AgroLume fornece suporte técnico especializado e manutenção remota.

Pequenos e Médios

1%

B2B2C

Produtores Alvo (SP)

Penetração Inicial

Modelo de Venda

Foco em propriedades < 50 ha

Estimativa conservadora Ano 1

Via Cooperativas Agrícolas

A análise de custo-benefício para o produtor indica um retorno sobre o investimento (ROI) positivo já na primeira safra após a instalação, devido à redução no uso de inseticidas aplicados de forma preventiva e ao aumento da porcentagem de grãos classificados como tipo exportação. A tecnologia permite a aplicação localizada apenas nas plantas ou talhões infestados, otimizando insumos e respeitando normas ambientais cada vez mais rigorosas. Os valores de mercado e projeções de adoção apresentados são estimativas indicativas baseadas no cenário atual; recomenda-se confirmar os dados atualizados de produção cafeeira estadual junto às secretarias de agricultura antes da submissão final da proposta comercial.

Plano de Negócios Simplificado para Transição à Fase 2

O modelo de negócios da AgroLume Tecnologia Ltda. para a Fase 2 estrutura-se na venda de hardware de sensoriamento óptico aliado a uma plataforma de software como serviço (SaaS). Esta abordagem visa garantir sustentabilidade financeira através de receitas recorrentes, além da venda única do equipamento. O foco inicial está nas cooperativas de café do estado de São Paulo, que atuam como agregadores de demanda para pequenos produtores.

Nota sobre Projeções Financeiras. Os valores de faturamento e custos apresentados nesta seção são estimativas indicativas baseadas em pesquisas de mercado preliminares. Confirme os preços atuais dos

componentes eletrônicos e as taxas de adesão das cooperativas antes da submissão final do plano de negócios da Fase 2.

A principal barreira não técnica identificada é a regulamentação do uso de dados automatizados para decisões de pulverização. Será necessário engajar o MAPA durante a Fase 2 para validar a precisão do sensor como ferramenta auxiliar no Manejo Integrado de Pragas (MIP), garantindo conformidade com as normas ambientais vigentes.

Item	Descrição	Valor Estimado (Ano 1 Pós-Fase 2)
Vendas de Hardware	500 unidades a R\$ 450,00/unidade	R\$ 225.000,00
Assinaturas SaaS	Licenciamento anual de software	R\$ 75.000,00
Custo dos Componentes	COGS estimado a 65% do preço de venda	R\$ 146.250,00

A escalabilidade do projeto depende criticamente da negociação de contratos de fornecimento de componentes ópticos em volume. A equipe técnica deve priorizar a padronização dos módulos sensores para facilitar a troca de fornecedores e reduzir a dependência de importações, aumentando a resiliência da cadeia de suprimentos nacional.

Orçamento Detalhado em Reais (R\$) para a Fase 1 - Edital FAPESP PIPE 2026

O orçamento apresentado reflete os recursos estritamente necessários para a execução das atividades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico previstas no cronograma de nove meses, iniciando em outubro de 2026. Os valores foram estimados com base em cotações de mercado para componentes eletrônicos especializados, serviços de usinagem de precisão e horas técnicas de equipe multidisciplinar. É fundamental confirmar os preços atuais dos fornecedores de sensores ópticos e microcontroladores antes da submissão final, dada a volatilidade cambial que impacta insumos importados.

Rubrica	Descrição Detalhada	Valor Estimado (R\$)
Recursos Humanos	Bolsas de pesquisa para Engenheiro de Hardware (6 meses) e Técnico em Eletrônica (9 meses), incluindo encargos sociais proporcionais.	145.000,00
Material de Consumo	Componentes eletrônicos (fotodiodos, LEDs infravermelhos, microcontroladores), placas de circuito impresso, baterias e invólucros para prototipagem.	42.500,00
Serviços de Terceiros	Usinagem de carcaças em alumínio e impressão 3D de alta resolução para testes ergonômicos e de	28.350,00

Rubrica	Descrição Detalhada	Valor Estimado (R\$)
	campo.	
Despesas Operacionais	Logística para deslocamento a cafezais parceiros em Campinas e região para coleta de dados e validação inicial.	15.000,00
Equipamentos Permanentes	Aquisição de osciloscópio portátil e multímetros de bancada para caracterização elétrica dos sensores.	19.000,00
Total Geral	Soma de todas as rubricas para execução completa da Fase 1.	249.850,00

Nota sobre Viabilidade Financeira. Os valores apresentados são estimativas indicativas para o período de execução. A AgroLume Tecnologia Ltda. compromete-se a apresentar notas fiscais e comprovantes de despesa conforme as normas de prestação de contas da FAPESP, garantindo a transparência na aplicação dos recursos públicos.