



METODOLOGIA HÍBRIDA APLICADA NO DESENVOLVIMENTO VOLUNTÁRIO DE UM ROBÔ BOMBEIRO

Eduardo Kamitani¹, Felipe Zanette², Maria Clara Seix Scheffel³, Amanda Sabrina de Souza⁴, Pietro Oda Pasini⁵, Lucas Martins Guedes⁶, Roberto Simoni⁷, Dalton Vidor⁸, Régis Scalice⁹

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil (eduardokamitani1998@gmail.com)

²Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil (felipe.zanette2@gmail.com)

³Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil (mariaclaraseixa@gmail.com)

⁴Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil (amandasabrinadesouza@gmail.com)

⁵Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil (pietropasinioda@gmail.com)

⁶Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil (lucasmguedes2006@gmail.com)

⁷Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil (roberto.simoni@ufsc.br)

⁸Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil (dalton.vidor@ufsc.br)

⁹Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil (regis.scalice@ufsc.br)

Resumo: Projetos voluntários muitas vezes sofrem com alta volatilidade de recursos humanos que dificulta a gestão de cronograma, atividades e responsáveis. Este trabalho apresenta uma metodologia híbrida, na qual é conduzida uma gestão adaptativa por meio do replanejamento de prioridades, realocação de tarefas e compactação de etapas não críticas quando necessário. Aplicada ao projeto voluntário de um robô bombeiro, a abordagem mitigou limitações de equipe e permitiu a conclusão do projeto informacional e conceitual em dois meses.

Palavras-chave: robótica; desenvolvimento de produto; gestão adaptativa; projeto voluntário; metodologia híbrida.

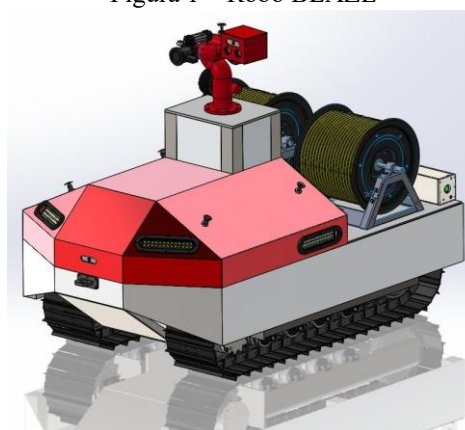
INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de sistemas robóticos aplicados envolve decisões interdependentes entre mecânica, eletrônica, controle, percepção, energia, segurança e operação. Em ambientes industriais consolidados, tais decisões são geralmente apoiadas por equipes consistentes, processos formais e métodos estruturados de desenvolvimento de produtos. No entanto, em projetos voluntários, a disponibilidade dos membros tende a ser irregular e não há uma carga horária formal a ser cumprida, dificultando a previsibilidade, o controle de prazos e a alocação de tarefas.

Esse cenário se aproxima de ambientes de baixa maturidade operacional, nos quais os processos tendem a ser mais imprevisíveis e reativos (CMMI INSTITUTE, 2026), e de contextos complexos de decisão, em que as relações de causa e efeito são compreendidas progressivamente durante a ação (SNOWDEN; BOONE, 2007). No presente trabalho, esse desafio é analisado a partir do robô bombeiro intitulado BLAZE, em desenvolvimento na

Universidade Federal de Santa Catarina, no campus de Joinville.

Figura 1 – Robô BLAZE



Fonte: Autores (2026)

Metodologias clássicas de desenvolvimento de produtos têm etapas com marcos bem definidos: no projeto informacional, busca-se compreender o problema, identificar necessidades dos stakeholders e convertê-las em requisitos de projeto; no projeto conceitual, esses requisitos orientam a geração,

comparação e seleção de alternativas de solução, resultando na definição da arquitetura funcional e dos principais sistemas, subsistemas e componentes do produto (ROZENFELD et al., 2006; ULRICH; EPPINGER, 2016).

A metodologia aplicada fez uso simplificado de alguns recursos clássicos, como QFD e matriz de decisão, utilizados para apoiar a tradução de necessidades em requisitos técnicos e a comparação de alternativas de solução (AKAO, 1990; PUGH, 1991). Essa simplificação foi necessária porque a aplicação integral dessas ferramentas pode se tornar pesada em contextos com alta volatilidade de recursos humanos, contato limitado com stakeholders e prazos restritos, nos quais o excesso de detalhamento pode comprometer a velocidade de avanço do projeto.

Métodos ágeis, por sua vez, favorecem adaptação, entregas incrementais e replanejamento frequente. Contudo, para sua efetividade, são necessários engajamento da equipe, comunicação proativa entre as partes interessadas, transparência e autonomia operacional (SCHWABER; SUTHERLAND, 2020). Tais condições nem sempre estão presentes em projetos voluntários.

Nesse contexto, este trabalho parte da hipótese de que projetos com disponibilidade limitada de recursos humanos requerem uma metodologia baseada em estrutura mínima suficiente: rigor técnico nas decisões críticas, simplificação de etapas de menor impacto e reorganização dinâmica das atividades conforme a evolução real do projeto.

O modelo de Kano contribui para essa lógica ao demonstrar que os requisitos de um produto podem impactar a satisfação do cliente de formas distintas, sendo classificados, por exemplo, como requisitos básicos, de desempenho ou atrativos (KANO et al., 1984). Assim, a metodologia aplicada buscou priorizar os requisitos básicos e esperados, evitando ao máximo o desenvolvimento prematuro de funcionalidades que superam as expectativas, mas de alta complexidade, que poderiam elevar o tempo de execução sem contribuir proporcionalmente para a viabilidade da primeira versão funcional do robô.

Figura 2 – Modelo de Kano



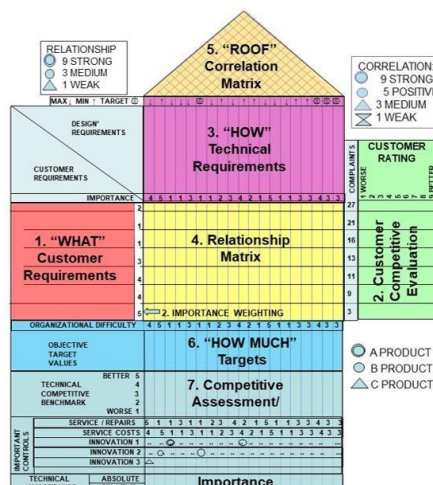
Fonte: Layon (2013)

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho é estruturado como um relato de caso de implementação metodológica, no qual se descreve a aplicação de uma abordagem híbrida de desenvolvimento de produto no projeto voluntário BLAZE. A proposta dialoga com princípios da Design Science Research ao tratar a metodologia aplicada como um artefato prático voltado à resolução de um problema real de gestão e desenvolvimento, embora o foco do artigo esteja na descrição e discussão da implementação, e não na validação formal do método como artefato generalizável (HEVNER et al., 2004; PEFFERS et al., 2007).

Primeiro os requisitos do cliente foram coletados e convertidos em requisitos técnicos de engenharia, representando funcionalidades que o robô deveria contemplar para atender às necessidades levantadas. Para apoiar essa conversão, utilizou-se uma versão simplificada do QFD, ou Desdobramento da Função Qualidade, ferramenta empregada para relacionar demandas do cliente com características técnicas do produto (AKAO, 1990). Em sua forma completa, o QFD pode incluir requisitos do cliente, requisitos técnicos, matriz de relacionamento, pesos de importância, correlações entre requisitos técnicos, avaliação competitiva, metas técnicas e análise de mercado. No presente trabalho, entretanto, foram utilizadas apenas as partes essenciais para a tomada de decisão inicial: requisitos do cliente, pesos de importância, requisitos técnicos e matriz de relacionamento.

Figura 3 - QFD (quality-function-deployment)



Fonte: Hunt (2013)

Onde foram atribuídas notas de correlação entre cada requisito do cliente e cada requisito técnico, indicando o quanto determinada característica de engenharia contribui para atender uma necessidade dos bombeiros. Requisitos técnicos com baixa

correlação foram eliminados ou reduzidos em prioridade, evitando funcionalidades com pouco impacto para o usuário final. Cada requisito do cliente recebeu um peso referente ao seu grau de relevância operacional. Necessidades associadas a baixo benefício, ou que já poderiam ser atendidas por soluções existentes, receberam menor peso. Por outro lado, necessidades capazes de gerar economia de tempo, redução de riscos ou ganhos operacionais relevantes receberam maior peso.

Como adaptação ao QFD tradicional, também foi incluído um peso relacionado à complexidade técnica dos requisitos de engenharia. Essa adaptação buscou penalizar funcionalidades que, embora desejáveis, exigem elevado tempo de desenvolvimento, alto esforço de integração ou maior incerteza técnica. Dessa forma, a pontuação final dos requisitos técnicos considerou simultaneamente a satisfação do cliente e a viabilidade de implementação. O resultado desta etapa está sendo apresentado na Tabela 1 na seção de resultados.

Após o QFD, foi realizado um benchmark com o objetivo de mapear soluções existentes no mercado e em projetos similares. O Benchmarking é uma prática utilizada para identificar referências, padrões de solução e boas práticas que possam orientar o desenvolvimento de um novo produto (CAMP, 1989). Em uma aplicação ampla, essa etapa pode envolver análise detalhada de concorrentes, desempenho comparativo, posicionamento de mercado, custos, tecnologias empregadas e diferenciais competitivos. No projeto BLAZE, entretanto, o benchmark foi empregado de forma direcionada, com foco técnico na identificação de arquiteturas, componentes e mecanismos que pudessem reduzir o tempo de desenvolvimento de engenharia. As informações relevantes extraídas do benchmark estão sendo apresentadas no Quadro 1.

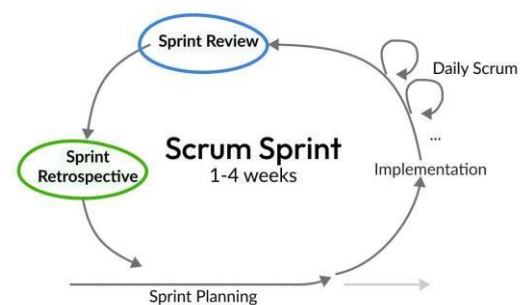
Com base nos requisitos priorizados e nas referências identificadas no benchmark, foi elaborada a arquitetura funcional inicial do robô. Nessa etapa, o sistema foi dividido em seus principais sistemas, subsistemas e componentes (SSCs), permitindo organizar a solução de forma mais compreensível e rastreável. A decomposição em SSCs possibilitou relacionar cada função esperada a partes concretas do robô, além de facilitar a distribuição posterior de responsabilidades entre os integrantes da equipe. Os SSCs estão sendo apresentados no Quadro 2.

Até essa etapa, as pesquisas iniciais foram conduzidas de forma predominantemente coletiva, favorecendo o alinhamento geral entre os participantes. A partir da definição preliminar da arquitetura funcional e dos SSCs, as responsabilidades passaram a ser divididas

por subsistema. Cada integrante ficou responsável por pesquisar soluções específicas, levantar alternativas e construir concepções capazes de atender aos requisitos definidos. Essa divisão reduziu a complexidade individual das atividades e permitiu que os membros concentrassem esforços em escopos menores e mais objetivos.

Paralelamente ao uso das ferramentas clássicas, a execução foi organizada por meio de ciclos curtos de pesquisa e desenvolvimento inspirados em práticas ágeis (*sprints*). Em reuniões internas, a liderança técnica apresentava o estado do projeto, distribuía atividades, definia responsáveis e estabelecia entregas esperadas para a sprint seguinte. Ao final de cada ciclo, os resultados eram apresentados pela equipe, discutidos coletivamente e utilizados como base para definir os próximos passos. Essa dinâmica permitiu inspeção frequente do avanço do projeto, identificação de gargalos e replanejamento contínuo das atividades. No total foram executadas 2 sprints, como mostra o Quadro 3.

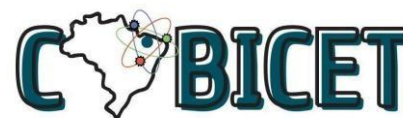
Figura 4 - QFD (*quality-function-deployment*)



Fonte: Lakeworks (2018)

Ao final de cada *sprint*, foram analisadas em conjunto as diferentes alternativas de solução encontradas. Para selecionar as opções mais adequadas, utilizou-se uma matriz de decisão ponderada, ferramenta que permite comparar quantitativamente alternativas a partir de critérios previamente definidos, atribuindo notas de desempenho e pesos de importância para cada requisito técnico. Dessa forma, a escolha das soluções deixou de depender apenas de preferência individual e passou a ser orientada por critérios explícitos e na perspectiva coletiva.

Além da pontuação, a própria planilha da matriz de decisão foi utilizada como instrumento de rastreabilidade e retenção de conhecimento. As vantagens e desvantagens identificadas durante a pesquisa foram registradas diretamente junto às alternativas avaliadas, permitindo justificar as notas atribuídas e preservar o raciocínio de seleção.



Também foram centralizados links e documentos de referência dos componentes, contendo especificações técnicas, fornecedores e valores estimados. Essa centralização foi especialmente importante em um contexto de alta volatilidade de participação, pois reduziu o risco de perda de conhecimento quando o responsável por determinado subsistema se ausentava ou deixava de contribuir, permitindo a continuidade da atividade.

Vale pontuar que uma estratégia relevante para economia de tempo de desenvolvimento foi a priorização de soluções comercialmente disponíveis sempre que sua integração fosse mais vantajosa do que o desenvolvimento completo pela equipe. Essa decisão foi relevante, por exemplo, no caso do sistema de locomoção do robô, onde encontrou-se modelos comerciais de plataformas móveis sobre esteiras compatíveis com a aplicação. Tal que caso fosse desenvolvida do zero, essa plataforma exigiria projeto mecânico, dimensionamento estrutural, seleção de atuadores, controle de locomoção e validações específicas, aumentando significativamente o tempo e a complexidade do projeto.

Após a seleção das soluções candidatas, foi realizada uma apresentação aos stakeholders para validação da arquitetura proposta. Essa reunião teve como objetivo apresentar as decisões tomadas, verificar a aderência das soluções às necessidades operacionais dos bombeiros e sanar dúvidas acumuladas durante as etapas anteriores. Como o número de interações com os stakeholders era limitado, essa reunião foi planejada para otimizar o tempo disponível, concentrando a discussão nas decisões de maior impacto técnico, operacional e financeiro. A aprovação das soluções apresentadas permitiu concluir a etapa de projeto conceitual com maior segurança.

Com a arquitetura conceitual validada, iniciou-se a elaboração da BOM preliminar. A BOM, ou Bill of Materials, corresponde à lista estruturada de materiais, componentes, fornecedores, especificações e custos estimados necessários para a construção do produto. Em um processo completo de desenvolvimento, a BOM costuma ser refinada ao longo do projeto detalhado, incorporando desenhos técnicos, especificações finais, revisões de fornecedores, tolerâncias, quantidades definitivas e documentação de montagem. No projeto BLAZE, foi elaborada uma BOM preliminar, suficiente para transformar a arquitetura conceitual em uma estimativa inicial de investimento.

Essa BOM preliminar representa a transição entre o projeto conceitual e o início do projeto detalhado. Seu objetivo foi subsidiar a avaliação de financiamento pelos stakeholders, oferecendo uma visão organizada

dos principais componentes, custos e escolhas técnicas necessárias à construção da primeira versão funcional do robô. No momento de elaboração deste trabalho, o projeto encontra-se nessa fase, com a BOM sendo preparada para apresentação ao Corpo de Bombeiros e demais envolvidos.

Os próximos passos previstos consistem na apresentação da BOM aos stakeholders para avaliação da viabilidade financeira. Em caso de aprovação, serão iniciadas as atividades de projeto detalhado, incluindo definição final de especificações, documentação técnica, planos de montagem, fabricação, integração de sistemas e preparação para construção da primeira versão funcional do robô. Dessa forma, a metodologia aplicada permitiu conduzir o projeto do levantamento inicial de requisitos até a conclusão do projeto conceitual e início da estruturação orçamentária em aproximadamente dois meses.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No projeto informacional, a utilização de uma versão simplificada do QFD mostrou-se suficiente para transformar as necessidades dos stakeholders em requisitos técnicos priorizados, preservando o propósito da ferramenta. A inclusão do fator de complexidade técnica como critério complementar permitiu que requisitos de alto custo de implementação fossem reavaliados ainda nas fases iniciais, direcionando o desenvolvimento para soluções com maior equilíbrio entre valor agregado e viabilidade prática. As especificações técnicas em que optou-se por não compor as funcionalidades do robô são: capacidade de subir escadas, transporte de vítimas, possibilidade de uso de múltiplos agentes extintores, capacidade de coleta de amostras, grau de proteção IP65 e uso de cabo de aço para recuperação, as quais obtiveram menor pontuação de relação aos requisitos como mostra a Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 – Matriz de relacionamento do QFD

		Requisitos dos bombeiros									
		Mitigar riscos	Reconhecimento	Operação com produtos perigosos	Combate a incêndios	Multifuncionalidade	Viabilidade de transporte	Empurrar objetos	Resposta rápida		
		Valor Agregado (3)									
DT (1)	Especificação técnica	3	1	2	3	1	3	2	3	Total	Pond.(4)
2	Plataforma móvel com tração pesada	0,0	5,0	5,0	9,0	5,0	0,0	7,3	4,2	35,5	19
4	Capacidade de subir escadas	0,0	6,7	3,0	4,0	0,0	0,0	2,5	2,5	18,7	6
2	Capacidade de transpor obstáculos	0,0	9,0	7,0	9,0	2,2	0,0	5,7	5,8	38,7	21
2	Capacidade de operar com baixa visibilidade	4,3	9,0	4,7	5,0	3,3	0,0	3,0	5,3	34,6	18
1	Capacidade de tracionar mangueiras	0,0	0,5	9,0	9,0	2,2	0,0	0,0	3,0	23,7	19
4	Capacidade de arrastar veículos e vítimas	7,3	5,0	6,7	4,0	4,3	0,0	7,7	5,0	40,0	15
4	Transporte de vítimas (tipo maca)	8,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	1,0	7,0	25,0	9
2	Esguicho/canhão monitor teleoperado	1,1	0,0	9,0	9,0	3,0	0,0	3,3	4,0	29,4	18
1	Autonomia / possibilidade de abastecimento rápido	1,1	7,0	3,0	3,0	3,0	0,0	3,0	5,8	25,9	18
2	Possibilidade de uso de múltiplos agentes extintores	4,7	0,0	5,0	5,7	3,0	0,0	2,5	2,5	23,4	14
1	Sensores de gases (CO, CO ₂ , GLP, enxofre)	9,0	9,0	7,3	3,7	3,0	0,0	0,0	4,0	36,0	26
1	Sensores de temperatura	5,7	5,3	4,0	9,0	2,3	0,0	0,0	4,0	30,3	24
2	Capacidade de coleta de amostras	5,0	5,0	9,0	0,0	5,0	0,0	3,0	1,8	28,8	14
1	Câmera térmica	2,3	6,0	3,7	4,0	3,0	0,0	3,0	4,7	26,7	19
1	Integração com drones	3,0	8,7	2,0	3,0	4,7	0,0	0,0	4,3	25,7	16
2	Grau de proteção à água mínimo IP65	0,0	0,0	4,0	9,0	0,0	9,0	0,0	2,2	24,2	17
2	Resistência a altas temperaturas e contaminantes	1,9	4,3	9,0	9,0	0,0	0,0	2,0	1,3	27,5	16
2	Compactidade	0,0	3,0	4,2	5,0	0,0	9,0	0,0	4,5	25,7	17
1	Uso de cabo de aço para recuperação	0,0	5,3	3,5	6,3	0,0	0,0	0,5	1,7	17,3	13

Legenda:

1) DT (Dificuldade Técnica): 1 = baixa; 2 = média; 4 = difícil.

2) Intensidade da relação: 9 = crítico (requisito determinante, obrigatório); 7 = alta (muito relevante, impacta diretamente); 5 = média (relação direta); 3 = baixa (relação indireta); 0 = nula (nenhuma relação).

3) Valor agregado: 1 = baixa (não traz grandes benefícios); 2 = supera expectativa (traz benefícios além do esperado); 3 = esperado (obrigatório, sua inconclusão gera insatisfação)

4) Pond. = valor ponderado calculado pela fórmula: $P_{ij} = \Sigma(C_{ij} \times V_j) / (D_i + D)$

onde:

C_{ij} = correlação entre a especificação técnica i e o requisito do cliente j;

V_j = peso (valor agregado) do requisito do cliente j;

D_i = dificuldade técnica da especificação i;

D = média dos pesos de dificuldade técnica.

Fonte: Autores (2026)

Ainda no projeto informacional, foi realizado o *benchmark*, uma pesquisa de mercado para mapear soluções existentes similares com a aplicação do robô, resultando no Quadro 2. Onde algumas características técnicas de engenharia puderam ser extraídas para servir de ponto de partida ao desenvolvimento, acelerando o processo de maturidade da equipe. Dentre essas características podemos citar a forte presença de locomoção por esteiras, presente em todas as soluções, indicando uma tendência a ser seguida. Em contrapartida, as soluções também apresentaram individualidades, como: diferentes formas de propulsão (hidráulica, combustão ou elétrica), presença de sistema de arrefecimento ativo externo, uso de drones para reconhecimento, presença de bobinadores de mangueiras no robô e dentre outros que deverão passar por um processo de decisão posterior.

Já na etapa de projeto conceitual, o primeiro passo foi realizar a decomposição da arquitetura funcional do robô em sistemas e subsistemas esperados (Quadro 1), facilitando a distribuição das atividades entre os

integrantes da equipe. A divisão do problema em módulos menores reduziu a dependência de conhecimento global por parte de cada participante, permitindo que diferentes áreas fossem desenvolvidas paralelamente de forma autônoma. Desta forma cada integrante, ou grupo de integrantes, ficou responsável pela pesquisa de possíveis soluções que deverão ser posteriormente analisadas em conjunto à equipe para seleção da melhor opção utilizando-se a matriz de decisão apresentada na Tabela 2.

Quadro 1 – Divisão dos Sistemas e subsistemas

Cód.	Sistema	Subsistema
A1	Locomoção e Chassi	Tração e Suspensão
A2		Chassi
A3		Powertrain
B1	Energia e Gestão Térmica	Alimentação
B2		Arrefecimento
B3		Blindagem Térmica
C1	Visão e Sensoriamento	Termografia
C2		Sensores de Gases/Temperatura
C3		Câmeras
C4		Iluminação
D1	Controle e Comunicação	Comunicação (RF/ WiFi/ Cabos)
D2		Processamento Central (ECU)
D3		Interface do Operador (OCU)

Fonte: Autores (2026)

Quadro 2 – Benchmark de robôs bombeiros

Robô/Tecnologia	Imagem	Solução adotada	Vantagens	Desvantagens	Links
Colossus		Esteiras trapezoidais	Alta tração em pisos acidentados/obstruídos com destroços.	Baixa velocidade, partes móveis	https://www.shark-robotics.com/robots/Colossus-firefighting-robot?utm_source=chatgpt.com
		Jato de água	Alcance e volume	Transporte da mangueira	
Thermite RS3		Motores hidráulicos	Acionamento mecânico com baixo número de componentes	Flequer linha de retorno de água	https://www.fireapparatusmagazine.com/fire-technology-innovation/fire-departments-adopt-robotic-technologies-for-their-operations/?utm_source=chatgpt.com
		Materiais isolantes/resistentes	Resistência térmica	Peso	
LUF 60		Ventilador alta potência	Melhorar visibilidade	Peso e tamanho	https://www.cnoff.gr/blog/en/robot-fire-fighter-robots-fire-rescue-2026/?utm_source=chatgpt.com
		Neblina de água	Eficiência térmica	Menor alcance	
Multiscope		Motor a combustão	Rendimento Torque x Combustível. Tolerância 200°C	Número de componentes suplementares	https://www.a21.ro/source/Fisa_tehnic_a_pentru_RXR-MC80BD.pdf
		Gerador a diesel	Elimina cabos de alimentação.	Peso e tamanho	
		Água + LGE	LGE pode ser transportado em um reservatório	Eleva risco de curto-circuitos. Volume LGE limitado.	
		Jato de água	Alcance e volume	Transporte da mangueira	
		Resfriamento Atomizador	Eficiente e de fácil implementação	Partes móveis	
		Estrutura modular	Flexibilidade de aplicação	Partes móveis	
		Drones	Velocidade e liberdade em ambientes abertos	Sensível a elevadas temperaturas e dificuldade em ambientes fechados	
		cameras DGI	Permite identificar risco iminente de explosão	Fumaça e vapores podem inviabilizar a utilização.	
RXR-MC80BD		Esteiras	Alta tração em pisos acidentados/obstruídos com destroços	Baixa velocidade, partes móveis	https://www.youtube.com/watch?v=CG3y65o_sJw http://en.bjtsj.com/product/3230.html
		Baterias	LGE pode ser transportado em um reservatório	Eleva risco de curto-circuitos. Volume LGE limitado.	
		Água + LGE	LGE pode ser transportado em um reservatório	Eleva risco de curto-circuitos. Volume LGE limitado.	
		Atuador elétrico industrial	Permite utilizar jato e neblina em uma mesma linha	Flequer blindagem térmica	
		Radio	Longo alcance (1km) e wireless		

Fonte: Autores (2026)

Tabela 2 – Matriz de decisão parcial das soluções encontradas

Motores	Pesos Técnicos: 1 = baixo; 2 = relevante; 3 = crítico		2	1	2	2	2	2	1	3	3		
	Dificuldade Técnica: 1 = baixo; 2 = médio; 4 = alta	Modelo/ Tipo	Torque	Robustez	Partes Móveis	Resistência Água	Controle de velocidade	Resistência térmica	Autonomia	Facilidade de integração	Custo	Total	Total Pond
	1	Hidráulico Água	3	2	1	2	1	2	2	1	-3	11	5
	1	Hidráulico Óleo	3	2	1	2	1	2	2	1	1	15	9
	4	Combustão	1	1	1	1	1	2	3	1	2	13	4
2	Elétrico	2	1	2	1	3	1	2	3	2	17	9	
Sensores gases/ temperatura	Pesos Técnicos: 1 = baixo; 2 = relevante; 3 = crítico		3	1	2	2	3	2	2	2	1		
	Dificuldade Técnica: 1 = baixo; 2 = médio; 4 = alta	Modelo/ Tipo	Faixa de medição	Precisão	Tempo de resposta	Resistência Água	Resistência térmica	Estabilidade de sinal	Integração eletrônica	Confiabilidade	Custo	Total	Total Pond
	4	DrägerSensor Cat-Ex 125 PR	2	2	2	1	1	0	-3	2	1	8	2
	4	DrägerSensor XXS OV-A	2	1	1	1	1	0	-3	2	1	6	2
	4	sensores individuais	-3	2	2	1	1	2	2	2	1	10	2
	2	Winsen ZCE04B	1	1	2	1	1	2	2	1	2	13	5
	2	Módulo Sensor de Gás YYS	1	1	2	-3	1	2	2	1	1	8	3
Câmeras	Pesos Técnicos: 1 = baixo; 2 = relevante; 3 = crítico		3	2	2	3	2	1	2	3	2		
	Dificuldade Técnica: 1 = baixo; 2 = médio; 4 = alta	Modelo/ Tipo	Resistência térmica	Resolução	Taxa de atualização	Campo de visão	Desempenho fumaça	Baixa iluminação	Proteção a água	Integração eletrônica	Custo	Total	Total Pond
	1	Bi-Spectrum Cube Camera	2	2	2	2	2	1	2	-3	12	14	
	1	HIKMICRO PocketE	1	0	2	1	2	2	1	1	11	12	
	1	HIKMICRO MiniX	1	2	2	1	2	2	1	2	1	14	15
Comunicação	Pesos Técnicos: 1 = baixo; 2 = relevante; 3 = crítico		3	3	2	2	2	1	1	1	2		
	Dificuldade Técnica: 1 = baixo; 2 = médio; 4 = alta	Modelo/ Tipo	Alcance	Estabilidade do sinal	Volume de dados	Latência	Resistência a interferência	Permeabilidade de Sinal	Confiabilidade	Consumo de energia	Custo	Total	Total Pond
	4	Radio Mesh	2	2	2	1	2	2	2	1	1	15	4
	2	LoRaWan Industrial	1	1	1	0	2	2	2	2	2	13	5
	1	Radio Ponto a Ponto	1	2	2	2	1	1	2	-3	1	9	6
	2	4G / 5G	0	2	1	1	1	-3	2	1	1	6	3
	3	ZigBee	0	1	1	2	1	1	1	2	2	11	3
	3	Radio digital dmr	1	2	1	2	2	1	2	0	0	11	4
	3	Ultra Wide Band	0	2	-3	1	2	0	2	1	0	5	2
	3	Digi xbee (pro 900hp) - dsss	2	2	1	1	2	2	2	1	0	13	4

Fonte: Autores (2026)

As reuniões semanais também desempenharam papel importante na aplicação da metodologia. Embora inspiradas em práticas ágeis, sua função foi muito além do acompanhamento das atividades, tornando-se um mecanismo de integração técnica, disseminação de conhecimento e redefinição constante das prioridades do projeto. Diferentemente de frameworks ágeis tradicionais, nos quais a equipe possui elevado grau de autonomia, observou-se que, em projetos voluntários, a liderança técnica assumiu papel decisivo para garantir a continuidade das entregas, centralizando decisões estratégicas e intervindo diretamente nas atividades críticas quando

necessário. É possível observar a não-linearidade da coluna de prazos, com grandes lacunas entre datas de cada atividade que foram inicialmente estabelecidas com datas próximas, que se deve ao fato da queda de participação dos responsáveis primários, necessitando frequentes substituições de atribuições de tarefas para mitigar atrasos.

Por fim foi elaborado a lista de componentes selecionados (BOM) que deverá ser o documento apresentado aos bombeiros de Joinville, listando componentes, justificativas, valores e materiais de referência como mostra o Quadro 4.

Quadro 3 – Atividades distribuídas em *sprints* ao longo do projeto

	ID	Função	Resposta Esperada	Depende de	Prazo	Endereço
Sprint 1	A1	Mapear soluções de esteiras	Designs e suas vantagens e desvantagens. Investigar modelos comerciais. Borracha, aço.	-	14/05/2026	https://docs.google.com/presentation/d/1Q1VtEgU6n1d1m1192v4vCC/edit#slide=id.g192v4vCC
	A3	Mapear soluções de motores	Hidráulicos, combustão, elétricos e suas vantagens e desvantagens	-	23/04/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	B2	Mapear soluções de arrefecimento externo	Modelos de sprinklers/aspersores/atomizadores com suas especificações. Levantar custos.	-	14/05/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	C2	Mapear medidores de Gases/Temperatura	Modelos industriais e integráveis de sensores de gases/temperatura. Avaliar possíveis gases perigosos	-	23/04/2026	https://docs.google.com/document/d/1Q1VtEgU6n1d1m1192v4vCC/edit#slide=id.g192v4vCC
	C1	Termografia	Modelos de câmeras termográficas integráveis e viáveis para as condições.	-	23/04/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	D1	Mapear tipos de comunicação	Avaliar possibilidades de comunicação e suas vantagens e desvantagens.	-	23/04/2026	https://docs.google.com/spreadsheets/d/1Q1VtEgU6n1d1m1192v4vCC/edit#slide=id.g192v4vCC
	R1	Apresentação Conceitos	A3, D1: Definir componentes mais viáveis usando a matriz de decisão.	-	30/04/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	R2	Apresentação Conceitos	C2, C3: Definir componentes mais viáveis usando a matriz de decisão.	-	07/05/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	R3	Apresentação Conceitos	A1, B2: Definir componentes mais viáveis usando a matriz de decisão.	-	14/05/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	R4	Reunião Bombeiros	Definir funcionalidades. Apresentar soluções encontradas. Alinhar decisão.	-	28/05/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
Sprint 2	A1	Definir plataforma	Verificar com fornecedores a disponibilidade e valor final dos melhores modelos.	-	04/06/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	B3	Mapear soluções para blindagem.	Investigar soluções comerciais e customizadas para blindagem térmica.	-	04/06/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	C3	Mapear câmeras	Mapear 2 tipos de câmeras: panorâmicas (360°) e padrão. Integráveis e resistentes a água.	-	04/06/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	C4	Mapear faróis	Faróis com mais de 10.000 lúmens e resistentes a água. Sugestão: faróis de milha.	-	04/06/2026	https://drive.google.com/drive/folders/192v4vCC
	D2	Elaborar possíveis arquiteturas de controle	CPU+Controlador+Drivers. Apresentar em uma tabela o número e tipo de portas, capacidade processamento/armazenamento, comunicação, etc de cada uma. Modelar diagrama de conexões (esboço ou software).	A3, B1, C1, C2, C3, D1, D3	04/06/2026	https://drive.google.com/drive/folders/1hpc5sM8P5Djd9iFwBQ0ELZmWw9ii19tZ?usp=drive_link
	D3	Mapear soluções para OCU	Pesquisar formas de controle remoto usuais. Avaliar modelos comerciais e customizados e levantar especificações/custos. Avaliar possibilidade de usar celulares como telas de transmissão de vídeo. No caso de customização, modelar arquiteturas conceituais dos controles (esboços de desenhos).	C1, C3, D1, D2	04/06/2026	https://drive.google.com/drive/folders/1hpc5sM8P5Djd9iFwBQ0ELZmWw9ii19tZ?usp=drive_link
	Marco	Elaboração da BOM	Coletar e unificar componentes selecionados em uma lista simplificada com identificação, justificativa, valor	-	23/04/2026	

Fonte: Autores (2026)

Quadro 4 – Lista parcial de componentes (BOM)

BOM preliminar – Robô bombeiro – Acionamentos Elétricos							
Lista hierárquica de sistemas, subsistemas e componentes principais. Valores preliminares para planejamento técnico e orçamentário.							
Nº	Sistemas, subsistemas e componentes	Descrição básica e importância	Qnt.	Valor un. (R\$)	Valor total (R\$)	% do total	Referência
1	Locomoção, estrutura e chassi						
1.1	Plataforma móvel						
1.1.1	Plataforma móvel rastreada elétrica	Base sobre esteiras com motores elétricos, controle e bateria de fábrica. Serve como base de locomoção e suporte primário do robô.	1	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00	26,33%	https://drive.google.com/drive/folders/1IMZER7DXBml99LVY1BVBI8LTUfgF4yb5?usp=sharing
1.2	Estrutura e integração mecânica						
1.2.1	Estrutura integrada em aço carbono	Estrutura superior/inferior única para sustentar, proteger e integrar carcaça, blindagem, bobinadores, câmeras e linha de água.			R\$ 10.000,00	6,58%	Manufatura
1.2.2	Consumíveis gerais de montagem	Parafusos, porcas, arruelas, abraçadeiras, solda, abrasivos, terminais, conduites, vedações e pequenos itens de integração.			R\$ 5.000,00	3,29%	Compra local / Manufatura
7	Iluminação						
7.1	Faróis						
7.1.1	Faróis LED auxiliares 12/24 V de alta iluminância	Quatro faróis auxiliares, um em cada lado do robô, para baixa visibilidade e orientação visual durante operação.	4	R\$ 176,00	R\$ 704,00	0,46%	https://www.mercadolivre.com.br/farol-milha-barras-390w-led-12v-24v-barco-pesca-super-potente/up/MLBU1732560110
RT	Reserva técnica (10% do subtotal)	Reserva para reposição de itens, variação de preços, fretes, perdas de prototipagem e ajustes de integração.			R\$ 13.812,28	9,09%	Reserva técnica
TOTAL	TOTAL	Total estimado de recursos, incluindo a reserva técnica.			R\$ 151.935,04	100,00%	

Fonte: Autores (2026)

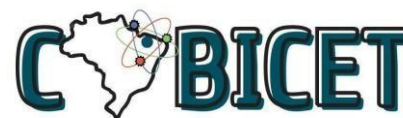
CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um relato de caso da implementação de uma metodologia híbrida aplicada ao desenvolvimento inicial do robô bombeiro BLAZE, em um contexto voluntário, universitário e com alta volatilidade na disponibilidade de recursos humanos. A experiência demonstrou que, diante de restrições de equipe, prazos reduzidos e contato limitado com stakeholders, a aplicação integral de metodologias clássicas de desenvolvimento de produto pode se tornar excessivamente onerosa, enquanto abordagens ágeis isoladas podem não oferecer rastreabilidade suficiente para decisões técnicas críticas. Nesse cenário, a combinação entre ferramentas clássicas simplificadas e práticas adaptativas de gestão mostrou-se adequada para conduzir o projeto do levantamento de requisitos até a consolidação da arquitetura conceitual e da BOM preliminar.

A metodologia aplicada preservou elementos essenciais do projeto informacional e conceitual, como levantamento de requisitos, QFD modificado, benchmark, matriz de decisão, decomposição em sistemas, subsistemas e componentes e elaboração da

lista de materiais. Entretanto, esses recursos foram utilizados com foco objetivo na tomada de decisão, evitando excesso de documentação e priorizando informações diretamente úteis para definição da solução. O uso do QFD modificado permitiu equilibrar valor percebido pelos bombeiros e dificuldade técnica, enquanto o benchmark reduziu o risco de desenvolvimento de soluções frágeis ou excessivamente originais. A matriz de decisão, por sua vez, contribuiu para tornar explícitas as justificativas técnicas, preservar a rastreabilidade e facilitar a continuidade do projeto mesmo diante da saída ou ausência temporária de integrantes.

Como resultado, a abordagem permitiu concluir, em aproximadamente dois meses, as etapas de projeto informacional e conceitual, chegando a uma arquitetura funcional preliminar e a uma BOM capaz de subsidiar a avaliação de financiamento pelos stakeholders. Esse resultado sugere que metodologias baseadas em estrutura mínima suficiente podem ser úteis em projetos de desenvolvimento conduzidos sob restrição de tempo, equipe e disponibilidade operacional, especialmente quando combinam rigor técnico nas decisões críticas com simplificação de etapas de menor impacto.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville (CBVJ) pelas valiosas contribuições técnicas e pela disponibilidade nas reuniões realizadas ao longo do desenvolvimento do projeto, fundamentais para o levantamento dos requisitos operacionais do robô BLAZE.

REFERÊNCIAS

AKAO, Yoji. Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design. Productivity Press, Cambridge, MA, 1990.

CAMP, Robert C. Benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance. ASQC Quality Press, Milwaukee, WI, 1989.

CMMI INSTITUTE. CMMI Model Quick Reference Guide. ISACA/CMMI Institute, Schaumburg, 2026. Disponível em: <https://cmmiinstitute.com>. Acesso em: 02 jun. 2026.

HEVNER, Alan R.; MARCH, Salvatore T.; PARK, Jinsoo; RAM, Sudha. Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly, 28, 75-105, 2004.

HUNT, R. QFD Tutorial. [S. l.]: Webducate, c2013. Disponível em: webducate.net. Acesso em: 10 jun. 2026.

KANO, N.; SERAKU, N.; TAKAHASHI, F.; TSUJI, S. Attractive quality and must-be quality. Journal of the Japanese Society for Quality Control, v. 14, n. 2, p. 39-48, 1984.

LAKEWORKS. *Scrum Sprint*. Wikimedia Commons, 2018. Disponível em: Wikimedia Commons. Acesso em: 18 jun. 2026.

LAYON, Kristofer. Digital Product Management: design websites and mobile apps that exceed expectations. Berkeley: New Riders, 2013.

LÖFGREN, Martin; WITELL, Lars. Kano's Theory of Attractive Quality and Packaging. Quality Management Journal, 12, 7-20, 2005.

PEFFERS, Ken; TUUNANEN, Tuure; ROTHENBERGER, Marcus A.; CHATTERJEE, Samir. A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. Journal of Management Information Systems, 24, 45-78, 2007.

PUGH, Stuart. Total Design: Integrated Methods for Successful Product Engineering. Addison-Wesley, Wokingham, 1991.

ROZENFELD, Henrique; FORCELLINI, Fernando A.; AMARAL, Daniel C.; TOLEDO, José C. de; SILVA, Sergio L. da; ALLIPRANDINI, Dário H.;

SCALICE, Regis K. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência para a Melhoria do Processo. Saraiva, São Paulo, 2006.

SCHWABER, Ken; SUTHERLAND, Jeff. The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game. Scrum.org, 2020. Disponível em: <https://scrumguides.org>. Acesso em: 06 jun. 2026.

SNOWDEN, David J.; BOONE, Mary E. A Leader's Framework for Decision Making. Harvard Business Review, 85, 68-76, 2007.

ULRICH, Karl T.; EPPINGER, Steven D. Product Design and Development. McGraw-Hill Education, New York, 2016.