



Agenda GreenAuto: Green Innovation for the Automotive Industry

PPS: PPS10: Sistema baseado em redes neuronais para aplicação em robots

Índice

1. Identificação	3
2. Objetivos técnico-científicos do PPS	4
3. Cronograma do PPS	4
4. <i>Milestones</i> do PPS e grau de cumprimento intercalar	4
5. Descrição breve do estado do PPS	5
6. Descrição detalhada do trabalho realizado	6
7. Outros indicadores de execução	15

1. Identificação

Título do projeto:	Agenda GreenAuto: Green Innovation for the Automotive Industry
Título do PPS:	Sistema baseado em redes neuronais para aplicação em robots
Data de início do PPS:	03-10-2022
Período de reporte:	Até 30-09-2023
Entidade coordenadora do PPS	ENARTIN
Outras entidades participantes no PPS	Instituto Kaizen, Sentinel, Real Robotic System, ISQ/CTAG, FEUP, Universidade de Coimbra

2. Objetivos técnico-científicos do PPS

O objetivo técnico-científico do PPS10 é investigar e validar a hipótese formulada de que será possível utilizar e aplicar um sistema de inteligência artificial, com base em redes neuronais, de modo a munir um sistema robotizado de capacidade de aprendizagem e assim reduzir a necessidade de programação inicial e do robô. O desenvolvimento deste PPS assentará em quatro pilares: software de interface homem máquina e base de dados, visão artificial, Hardware Mecânico e Hardware eletrónico, sendo que os quatro serão intrinsecamente desenvolvidos a par.

No final, o robô irá estar munido da capacidade de interpretação do meio e identificação de objetos, sendo possível ajustar a sua trajetória e identificar os objetos a manusear. Irá também melhorar a sua performance através de indicações positivas ou negativas por parte de um responsável pelo seu “ensinamento”.

A interface da máquina com o homem será intuitiva, sendo que para isso serão desenvolvidos esforços na investigação prévia da interface com o utilizador e com a sua experiência de utilização.

3. Cronograma do PPS

Juntar cronograma atualizado em anexo (em formato Excel), evidenciando as atividades e tarefas previstas e realizadas

4. Milestones do PPS e grau de cumprimento intercalar

Nº do Milestone	Título do Milestone	Tipo de Milestone	Data de entrega prevista no	Data de entrega efetiva	Alcançado? (S/N)	Comentários
1	Definição do processo em contexto industrial a ser utilizado como caso de utilização piloto		09/01/2023	09/01/2023	Sim	
2	Caracterização e documentação dos requisitos identificados e definição de especificações técnicas		31/03/2023	28/04/2023	Sim	
3	Solução Conceptual		30/06/2023	17/08/2023	Sim	
4	Formulação de Algoritmos		23/02/2024	-	-	Em execução.
5	Protótipo de bancada / Laboratorial		22/12/2024	-	-	
6	Protótipo Industrial		25/06/2025	-	-	
7	Testes e provas de conceito em ambiente relevante		25/09/2025	-	-	
8	Disseminação de resultados		23/10/2025	-	-	

5. Descrição breve do estado do PPS

O projeto começou com uma reunião de kick-off para definir objetivos e uma visão geral. Em seguida, a fase de levantamento de requisitos permitiu identificar os requisitos funcionais na ótica do utilizador, segurança e desenvolveu uma solução conceitual. Foram analisados casos de uso e aprofundaram-se os requisitos no que toca às características que o produto minimamente viável terá de apresentar. Com esses requisitos estabelecidos chegou-se a um fluxo de operação do produto (especificando o contributo claro e objetivo de cada entidade no pps), que serve de base para a investigação, já a decorrer, e posterior desenvolvimento.

Dois cenários de interface com o produto foram definidos: parametrização inicial de um sistema robótico e operação/aprendizagem contínua.

A solução conceptual, que fora desenvolvida na primeira fase do projeto com a ambição de alcançar um produto aplicável a infinitas utilizações, ou seja, com capacidade de crescimento e sendo generalista, permitiu a definição de um caso de uso específico para demonstração no âmbito do presente programa. Com isto alcançamos as especificações de I&D detalhadas do caso de uso.

No que toca à inteligência artificial e redes neuronais, a pesquisa foi iniciada praticamente desde o kick-off, em duas vertentes: (1) com foco no reconhecimento de mundo e objetos a serem manipulados, (2) bem como no reconhecimento de pessoas e suas interações com a máquina.

A gestão de projetos tem sido fundamental para garantir prazos e qualidade, apesar de um pequeno atraso de duas semanas. O projeto agora entra na fase de pesquisa de algoritmos de inteligência artificial com redes neurais, permitindo a programação de robôs sem a necessidade de codificação elaborada pelo usuário.

Em suma, neste momento a solução conceptual e o caso de uso encontra-se completamente balizado estando a investigação das várias entidades a decorrer em velocidade de cruzeiro. Estando já na fase de formulação de algoritmos, nas próximas semanas será produzido um documento para distribuição dentro do PPS10 com definição dos interfaces necessários entre entidades com toda a definição técnica de inputs e outputs (ex.: protocolos de comunicação; linguagem de programação dos sub-sistemas a serem integrados uns nos outros, etc) bem como com todas as especificações de equipamentos (hardware) a integrar na solução.

Verificamos um ligeiro atraso devido à decisão de qual seria o caso de uso. Uma vez este ponto fechado, é-nos agora possível intersear o desenvolvimento de algoritmo (software) com a ausência de determinadas especificações de hardware e assim mitigar o atraso verificado.

Conclusão sobre o estado do PPS:

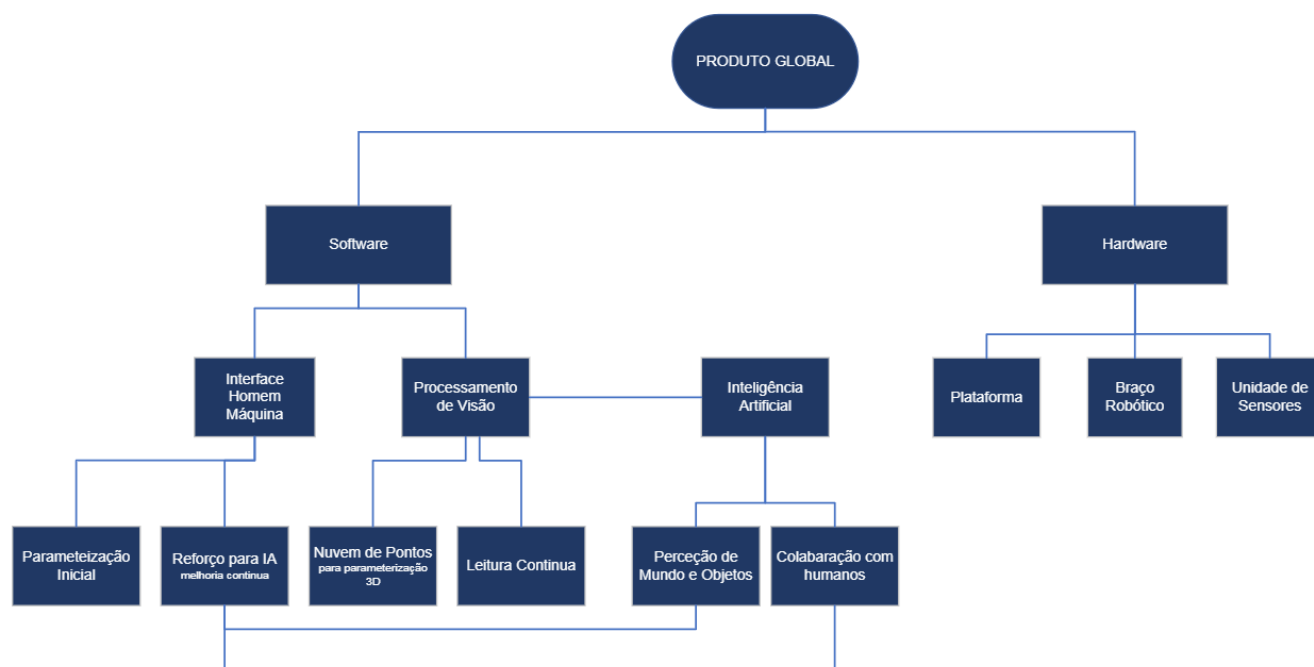
Por iniciar	
Em curso dentro do Prazo	
Em curso fora do Prazo	X
Concluído	

Quantificação do nível de Execução Física (%): 12%

6. Descrição detalhada do trabalho realizado

Como descrito na secção 5, com o *kick-off* foram definidos os objetivos e estabelecida uma visão geral do projeto, que permitiu também uma visão clara da missão de cada entidade no projeto.

O primeiro passo, após *kick-off*, foi o levantamento de requisitos na ótica do utilizador, onde foram identificados os requisitos funcionais, requisitos de segurança e todos os passos importantes na instalação de um sistema robótico. Com esta tarefa foi possível clarificar toda a capacidade e características que o produto deverá possuir.



Durante esta fase, em paralelo, foram analisados possíveis casos de uso que descreveriam as diferentes interações do utilizador com o software e hardware, importantes para aplicar o produto desenvolvido.

Uma vez que este produto será investigado e desenvolvido com a ambição de ser “utilizável” com várias marcas e modelos de sistemas robóticos, e com várias hipóteses de casos de uso em cima da mesa, foram estudadas várias hipóteses e alcançaram-se dois cenários de utilização comuns a todas as aplicações:

1. Parametrização inicial de um sistema robótico;
2. Operação contínua & Aprendizagem contínua da máquina

Esta definição permitiu-nos chegar ao fluxo de operações do produto nos dois cenários, como mostram as seguintes imagens:

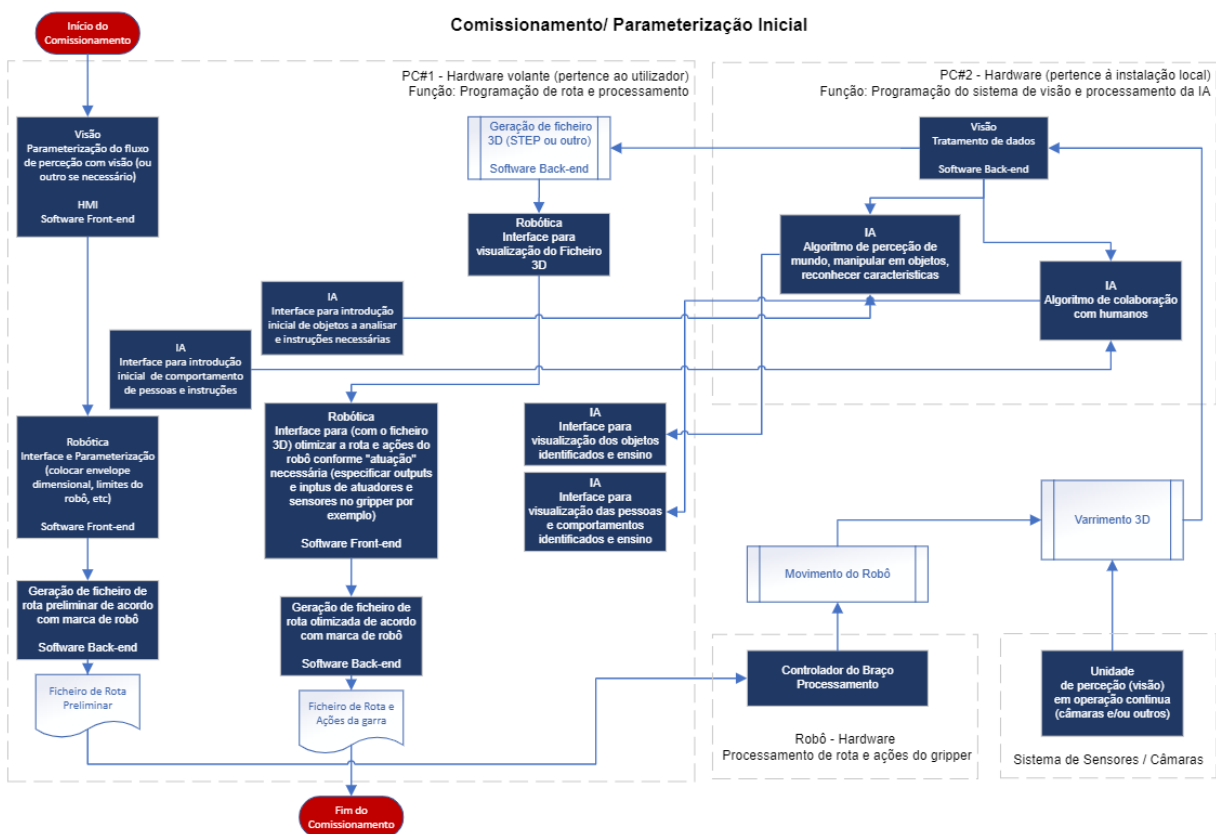


Ilustração 1 – Fluxograma do produto para comissionamento

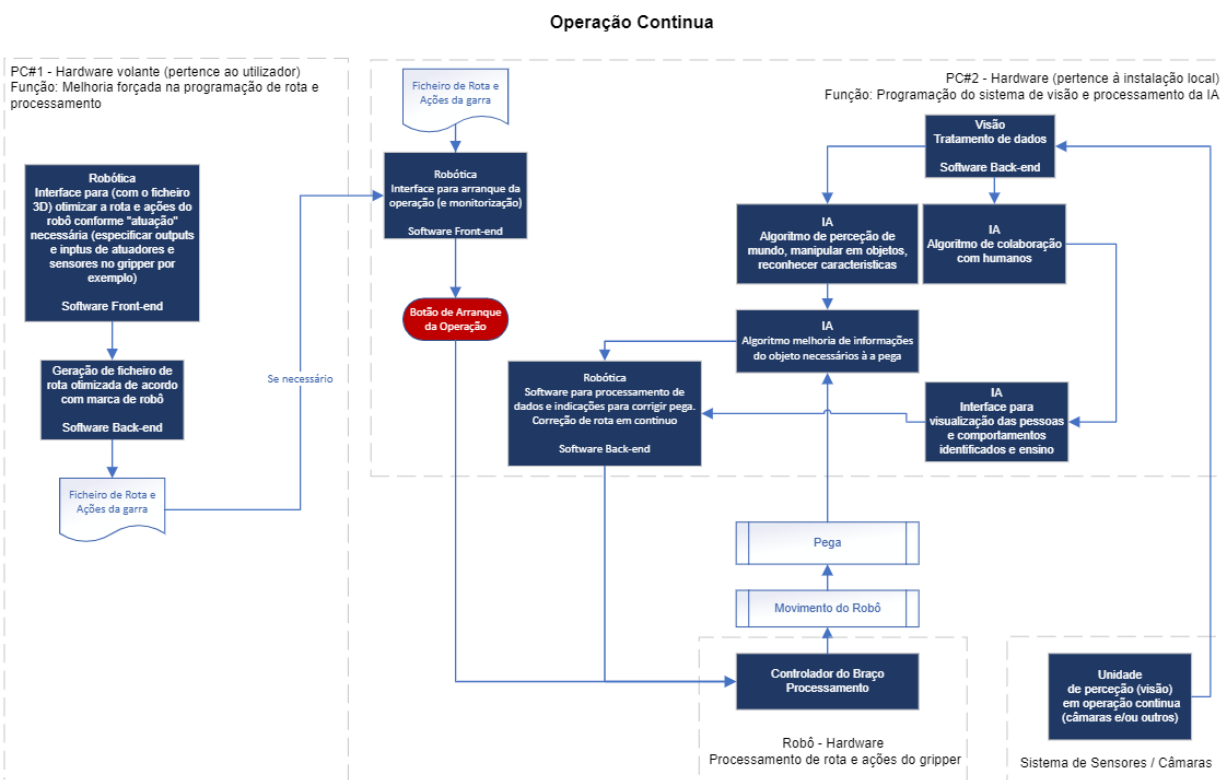


Ilustração 2 – Fluxograma do produto para operação e melhoria contínua.

O primeiro cenário de utilização aparece pela necessidade de configurar e “permitir” ao sistema perceber o mundo em que se encontra e as tarefas que terá de fazer. O segundo cenário será já num ambiente de operação em continua, cujo interface permitirá ao operador indicar ao equipamento se está a “trabalhar” bem ou se está a trabalhar mal, ensinando a máquina através de uma metodologia designada por “aprendizagem por reforço”.

Com a clarificação do fluxo de operação do produto, foi possível alcançar os pacotes de algoritmos que o grupo de trabalho deve garantir para correto funcionamento do produto, sendo que o software (que será a base do produto em desenvolvimento) deverá obedecer a uma estrutura que permita a modularização da solução no que toca à interface com o utilizador, permitindo a “aquisição” de licenças conforme o caso de uso. Como tal, é possível dividir o software em três módulos de utilização, presentes na seguinte figura.

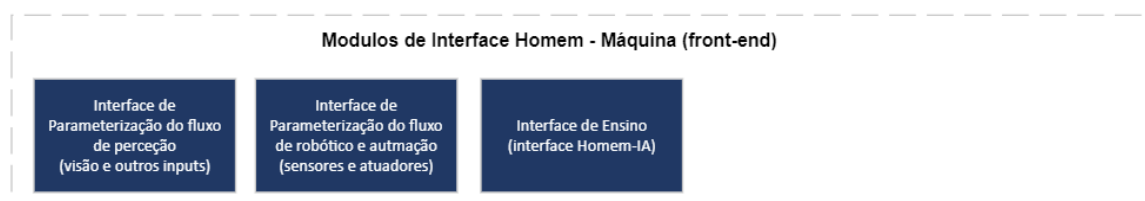


Ilustração 3 – Módulos de Interface com utilizador (front-end).

Os módulos de funcionalidade descritos representam a necessidade de desenvolvimento de lógica de processamento de dados, ou seja, os algoritmos de processamento. Esse processamento será dividido nos seguintes módulos:

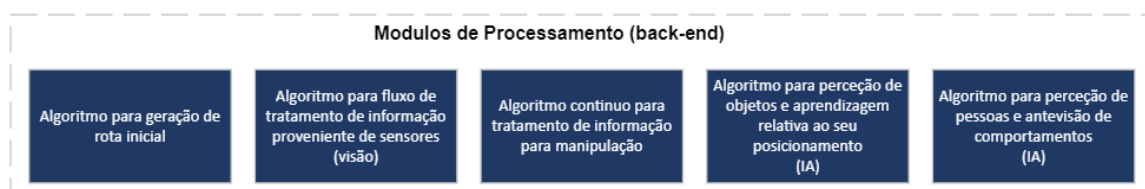


Ilustração 4 – Módulos de Lógica (back-end).

Por forma a munir o sistema de inteligência é importante o registo de informação em base de dados, sendo que essas bases de dados poderão ser divididas também elas em três grupos:

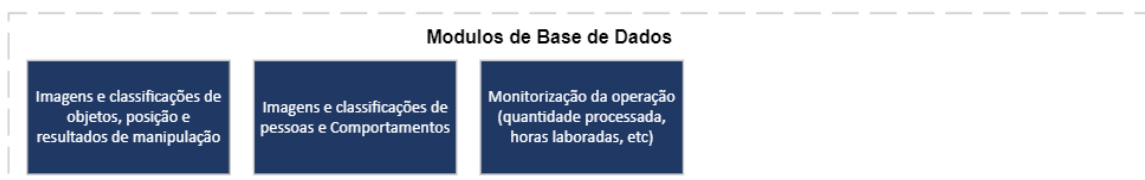


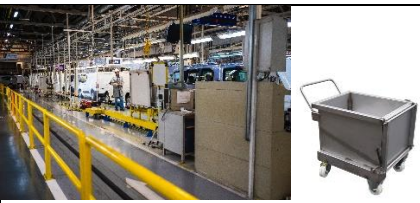


Ilustração 5 – Módulos de base de dados.

Com a solução geral e conceptual definida, foi então mandatório (e possível) avançar-se para a definição de um caso de uso específico que servirá de caso prático para testes e demonstração, que possibilitará a instalação de um sistema robótico de uma determinada marca com recurso ao produto aqui desenvolvido e posterior operação com aprendizagem contínua (possibilitada com a inteligência artificial com base em redes neuronais). Assim, o caso de uso “escolhido” como a hipótese que melhor permite colocar em prática o produto desenvolvido tratar-se-á de um sistema inteligente de recolha dos resíduos originados pela linha de montagem da fábrica da Stellantis em Mangualde. Este caso de uso será um sistema de “pick and place” inteligente e autónomo, com capacidade para reconhecimento de formas, posições, cores e texturas (materiais), com a nuance de que os resíduos serão todos eles diferentes entre si e o equipamento, através da inteligência artificial, irá ter capacidade de aprender e identificar novas formas garantindo a recolha e separação correta dos resíduos, aprendendo também qual a melhor forma de os manipular. Para remoção dos resíduos da linha existe a seguinte sequência de operações, que o nosso sistema robótico irá garantir:

1. Os resíduos são colocados pelos operadores de montagem em zona específica, ao longo da linha em vários locais. Na linha os resíduos são separados entre plástico e papel.

Nota: O papel, separado é colocado dentro de um saco de plástico.



2.	Os resíduos são “apanhados” ao longo da linha e colocados num mesmo carrinho volante.	
3.	O carrinho, no estado de cheio, será conduzido até à zona de separação de resíduos, no exterior da fábrica.	
4.	Na zona de separação, os resíduos serão separados pelo sistema robótico. O plástico e o papel serão colocados em dois contentores separados.	

Com o caso de uso definido, o grupo de trabalho encontra-se agora em investigação nas suas variadas especialidades:

- Inteligência Artificial;
- Visão artificial;
- Robótica;
- Mecânica - Física;

Este trabalho além da investigação individual das entidades, obriga à produção de especificações técnicas detalhadas para desenvolvimento e o que cada entidade deve respeitar. Nesta etapa, o foco está principalmente nas especificações para o software que se relaciona com a robótica, garantindo que o mesmo seja apto a interagir efetivamente com os braços robóticos. Este ponto inclui a definição de parâmetros técnicos como as interfaces de comunicação e outros requisitos relacionados aos sistemas em questão. Tendo sido iniciados esforços para especificações do sistema de visão, definindo os inputs e outputs necessários, que dizem respeito à capacidade do software de processar informação e criar outputs com base nessas informações, resultando na definição de requisitos para hardware e software.

No que toca à inteligência artificial, e redes neuronais, ponto de investigação que irá conferir o grande diferencial ao produto, foi desde início produzida investigação, no que toca à forma como a máquina irá aprender (com base em sistemas de redes neuronais), mais especificamente em duas vertentes:

1. Reconhecimento de pessoas e aprendizagem de suas “intenções” na interação com a máquina.
2. Reconhecimento de mundo e objetos a manipular

Estas duas vertentes de investigação e desenvolvimento irá permitir ao equipamento (1) reconhecer e aprender a operar em segurança crescente em cooperação com as pessoas e (2) mapear objetos e saber exatamente o que tem de manipular e como manipular.

A investigação conduzida sobre o ponto 1, relativamente ao reconhecimento de pessoas por parte do sistema robótico e sua interação com humanos é desde cedo um fator diferenciador que o nosso produto irá conferir aos equipamentos de outras marcas. Esta pesquisa trouxe-nos já algumas informações interessantes, pois conforme indicado por Sanneman et al. num estudo realizado em grandes fabricantes e PMEs em 2020, a maior produtividade é observada em espaços de trabalho industriais que contam com uma combinação de trabalhadores humanos e robôs: a versatilidade dos humanos, somada à precisão e consistência dos robôs, tende a gerar um rendimento melhor do que mesmo em fábricas automatizadas. Como tal, algum nível de contacto humano com robôs industriais permanecerá uma característica inevitável dos espaços de trabalho industriais. Historicamente, os robôs eram segregados dos trabalhadores humanos durante a operação normal, de modo que a Interação Humano-Robô (IHR) efetivamente não ocorria, mas o surgimento dos cobots (robôs colaborativos) com a Indústria 4.0 levará a uma crescente necessidade de os humanos interagirem com eles, seja ensinando o que fazer, ou até mesmo compartilhando tarefas. Classicamente, a IHR tem sido categorizada, como proposto por Schmidtler et al. [2015], com base em quatro pontos de possível sobreposição: espaço de trabalho; tempo de trabalho; objetivo; e contacto. O resultado são três categorias de IHR, como mostrado na Figura 1. Na Coexistência Humano-Robô (HRCx), humanos e robôs compartilham um espaço de trabalho comum, mas não uma tarefa comum. A distinção entre a Cooperação Humano-Robô (HRCp) e a Colaboração Humano-Robô (HRC) é mais fluida e relaciona-se com a natureza das tarefas compartilhadas entre humano e robô, com a compreensão de que a HRCp não requer tanta comunicação entre os dois agentes. Cada categoria de IHR (ou até mesmo nenhuma delas) é mais adequada para tarefas diferentes, pelo que foi sugerido por Sanneman et al. que as fábricas industriais mais produtivas haverão de abranger todas as categorias.

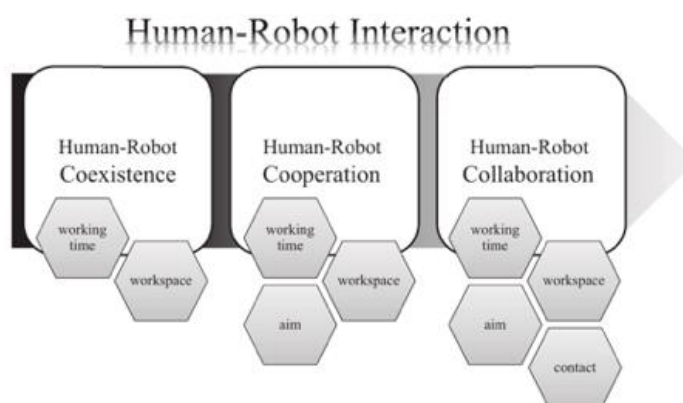


Ilustração 6 - A categorização da Interação Humano-Robô (HRI) em HRCx, HRCp e HRC com base nos pontos de possível sobreposição presentes no tipo de interação.

Fonte: [Schmidtler et al. \[2015\]](#)

Com isso em mente, é interessante explorar a questão do quão conscientes os trabalhadores humanos estarão dos robôs industriais, abrangendo todas as categorias de interação. Nomeadamente, a consciência da presença de robôs industriais no local de trabalho foi determinada como apenas sendo uma subcategoria dentro do conceito amplo de "consciência": a Tabela 1 mostra a categorização da consciência de robôs em humanos que foi usada para orientar o texto abaixo. Foi procurado um entendimento do atual estado da arte e avanços conjecturais para cada subcategoria, com as subcategorias abordadas em ordem crescente do grau de interação que o trabalhador humano terá com o robô para o nível de consciência dado, com foco particular na HRC. A metodologia de pesquisa consistiu em três fases de busca por palavras-chave cada vez mais específicas, com os fundamentos sendo explorados por meio de referências cruzadas; e avanços verificados explorando os artigos que citaram contribuições influentes. Foi dada ênfase especial às limitações das normas de segurança atuais, bem como à motivação para o estudo da Teoria da Mente (ToM) artificial para aplicações industriais.

Subcategorias	Descrição da Consciência	Componentes
Opinião	Percepção concetual de robôs como um coletivo	Confiança, Afinidade, Conformidade
Consciência Situacional	Localização e movimento de robôs individuais	Atenção, Medidas de segurança passivas
Compreensão de Comportamento	Planos de robôs individuais	Cinemática, Olhar social
Comunicação Humano-Robô	Robot "mental state""Estado mental" do robô	IHR cognitiva, Teoria da Mente (ToM)

Tabela 1: Subcategorias de consciência de robôs em humanos, em ordem crescente de interação.

Para uma parte significativa da IHR, e especialmente para HRC, mais pesquisas foram conduzidas fora do contexto industrial. Por exemplo, existem muitos resultados relevantes obtidos no âmbito da robótica social. Deve-se notar, no entanto, que uma grande parte deles permanece relevante aqui, embora com algumas ressalvas. Notavelmente, os sinais de comunicação entre humanos e robôs industriais não são interpretados tão fielmente quanto entre humanos e robôs sociais (como discutido com mais detalhes abaixo). Dois fatores afetam isto: em primeiro lugar, o ambiente é ruidoso e os rostos das pessoas estão obscurecidos com equipamentos de segurança; em segundo lugar, a escolha dos sensores e sua colocação são limitadas pela necessidade de não prejudicar o robô industrial no desempenho da sua tarefa.

Este estudo já produzido permitiu-nos alcançar um estado de alerta para determinados pontos que são de interesse total investigar, desenvolver e incluir no nosso produto, por forma a munir o sistema robótico de outras marcas com determinada inteligência social.

Desta forma definimos como base de desenvolvimento um robô colaborativo (Ilustração 7).



Ilustração 7 – Braço robótico colaborativo



Ilustração 8 – Base móvel

Para aumentar a capacidade de trabalho do nosso equipamento, o sistema será instalado na base móvel que transportará os resíduos ao longo da fábrica (Ilustração 8) com capacidade de navegação em ambientes exteriores e com capacidade de interação em ambientes industriais.

Trabalho realizado pela pelos diferentes copromotores:

ENARTIN:

- Análise de definição de objetivo tecnológico.
- Análise e definição de estratégia para investigação e desenvolvimento;
- Aferição e gestão de competências exatas das várias entidades do PPS;
- Análise e definição de caso de uso;
- Definição de plano tecnológico para alcance do produto desejável;
- Definição de cronograma;
- Preparação de entregáveis;
- Reunião com todas as entidades presentes no PPS10;
- Preparação de entendimento entre as partes.
- Especificações de produto minimamente viável
- Objetivos claros de I&D para cada uma das entidades.

KAIZEN INSTITUTE

- Pontos abordados na Reunião;
- Participantes;
- Principais ações realizadas;
- Próximos passos;
- Plano de ação e riscos identificados
- Recolha de informação sobre possíveis casos de uso e sobre os pressupostos necessários de aplicação;
- Priorização dos diferentes casos de uso identificados e seleção dos mesmos;
- Preparação e participação de reuniões de Gestão de Projeto com a entidade líder (ENARTIN), por forma a identificar possíveis casos de uso onde fosse possível a concretização e experimentação de pressupostos já identificados como necessários;
- Desenvolvimento de uma dinâmica de apoio às reuniões de Gestão de Projeto;
- Reuniões de preparação para a Gestão de Projeto com a entidade líder;
- Preparação e elaboração de reuniões de Gestão de Projeto mensais em conjunto com as restantes entidades do PPS;
- Identificação das tarefas/iniciativas a serem desenvolvidas: Caracterização da situação atual (Fluxo Material - Recurso afetado ao transporte de resíduos desde o bordo linha aos caixotes (outdoor)), identificação de oportunidades de melhoria e desenho de soluções.
- Necessidade de realização de visita à Stellantis para aprofundamento dos trabalhos identificados e recolha de dados necessários ao desenvolvimento do ponto anterior;

REAL ROBOTIC SYSTEMS

- Estudo e análise da plataforma de robótica para o desenvolvimento dos algoritmos
- Avaliação e pré-preparação de desenvolvimento de pequenos blocos de código na plataforma selecionada para aquisição de dados
- Estudo previsional sobre tecnologias e definição de algoritmos para a implementação na plataforma sob a forma de código
- Definição da estrutura de trabalho dos algoritmos a desenvolver pela RRS (Real Robotic Systems)
- Desenvolvimento de algoritmos para tratamento de dados externos na plataforma dos robôs da marca Kuka
- Desenvolvimento de algoritmos para tratamento de dados externos na plataforma dos robôs da marca ABB
- Definição da estrutura de comunicação com as outras partes de hardware/software, das entidades parceiras

SENTINEL

- Estudo e análise de soluções de visão para robótica móvel
- Avaliação de sistemas de aquisição em 2D/3D
- Gestão técnica do projeto

ISQCTAG

- Definir a disposição: layout e ferramentas;
- 3D's dos equipamentos a serem utilizados.
- Análise e definição de requisitos, funcionalidades e segurança
- Levantamento de tecnologias utilizadas em fábrica atualmente

FEUP

- Definição de casos de uso e requisitos funcionais e de segurança da solução a desenvolver;
- Investigação preliminar acerca de inteligência artificial para identificação/classificação/deteção do meio ambiente e dos objetos envolventes ao sistema robótico a ser desenvolvido;
- Definição de trabalhos a serem integrados em projetos de dissertação de mestrado / teses de doutoramento de médio prazo;
- Atividades relacionadas com a gestão de projeto.

Universidade de Coimbra

- Pesquisa e análise do estado da arte no que diz respeito à robótica colaborativa em ambiente industrial;
- Desenvolvimento de trabalho científico relacionado com o estado da arte em robótica colaborativa “Máquinas e robôs com consciência humana”:
 - Interação Humano-Robô;
 - Perceção dos humanos aos robôs;
 - Colaboração Humano-Robô;
 - Normas de Segurança (ISO);
 - Manual Técnico OSHA;
 - Compreensão do comportamento dos robôs;
 - Comunicação Humano-Robô;
- Atividades relacionadas com a gestão do projeto

7. Outros indicadores de execução

7.1. Indicadores para reporte à CE

Indicadores para reporte à CE	Unidades	Valores ⁽¹⁾
Investigadoras do género feminino que trabalham em instalações de investigação apoiadas	Equivalentes anuais a tempo inteiro (FTE) [<i>rácio de horas de trabalho efetivamente gasto em I&D durante um ano civil pelo total de horas convencionalmente trabalhadas no mesmo período por um indivíduo ou um grupo</i>]	0,03
Investigadores do género masculino que trabalham em instalações de investigação apoiadas	Equivalentes anuais a tempo inteiro (FTE) [<i>rácio de horas de trabalho efetivamente gasto em I&D durante um ano civil pelo total de horas convencionalmente trabalhadas no mesmo período por um indivíduo ou um grupo</i>]	4,22

⁽¹⁾ Soma do FTEt dos copromotores envolvidos no PPS

$$FTEt = \left(\frac{Ht}{HTt} \right)$$

- FTEt é o Equivalente a Tempo Inteiro para o trimestre;
- Ht é o número total de horas efetivamente dedicadas à I&D durante o trimestre;
- HTt é o número total de horas convencionalmente trabalhadas, por um colaborador, no trimestre.

7.2. Outros indicadores de realização relevantes

Tipologia de Ação de promoção e divulgação de Resultados	Número de Ações iniciadas	Número de Ações iniciadas e concluídas
Realização de teses de mestrado e/ou doutoramento e/ou trabalhos de pós-doutoramento	1	-
Publicação de artigos científicos (revistas especializadas + <i>proceedings</i> de conferências científicas)	-	-
Participação em eventos científicos relevantes	-	-
Registo de patentes	-	-
Participação em feiras/certames	-	-