

**VIOLET**

AR/VR International Welding Engineer Qualification



D2.3 Relatório sobre as necessidades e a formação em I/EWE



Revisão	Data	Autor/Organização	Descrição
1. ^a	15.07.2026-	ASR	Revisão do documento -
2. ^a	20.07.2026	ASR	Revisão do documento -
3. ^a	23.07.2026	EWf	Revisão do documento -
3. ^a	23.07.2026	L-USIT	Revisão do documento
5. ^a	29.07.2026	ASR	Revisão do documento
6. ^a	29.07.2026	ASR	Aprovação do documento final

Índice

1. Resumo executivo	4
2. Introdução.....	5
2.1. Antecedentes e contexto.....	5
2.2. Objetivos.....	6
2.3. Metodologia.....	6
2.4. Caracterização do grupo-alvo	7
3. Resultados e análise do inquérito.....	7
3.1. Resultados do inquérito ao questionário destinado aos engenheiros.....	7
3.1.1. Secção A: Perfil	7
3.1.2. Secção B: Tecnologias digitais:.....	9
3.1.3. Secção C: Processos de soldadura e corte:	10
3.1.4. Secção D: Materiais e o seu comportamento durante a soldadura	13
3.1.5. Secção E: Concepção de estruturas soldadas:	16
3.1.6. Secção F: Problemas de fabrico de estruturas soldadas.....	18
3.1.7. Secção G: Âmbito da formação estratégica para a validação dos benefícios da XR... ..	22
3.1.8. Comentários finais do questionário aos engenheiros.....	30
3.2. Resultados do inquérito aos intervenientes da indústria	32
3.2.1. Secção A: Perfil	34
3.2.2. Secção B: Necessidades de competências	37
3.2.3. Secção C: Percepção da RV/RA.....	38
3.2.4. Secção D: Interesse e envolvimento	40
3.3. Resumo dos resultados do inquérito	48
3.3.1. Equilíbrio entre o treino físico à distância e o âmbito da XR no currículo de qualificação I/EWE.....	48
3.3.2. Objetivo deste resumo.....	49
3.3.3. Visão geral dos inquiridos	49
4. Conclusões	49
Questão estratégica.....	50
Conclusão da análise.....	50
5. Recomendações	51

5.1 Áreas curriculares com maior potencial para a ministração à distância/baseada em XR	51
5.2. Áreas curriculares que exigem ensino presencial/prático.....	56
5.3. Síntese: a resposta disponível mais próxima do objetivo	57
6. Anexos: questionários do inquérito	57

1. Sumário executivo

O objetivo deste documento é fornecer informação baseada em evidências para apoiar o desenvolvimento de soluções de formação inovadoras e centradas no formando, bem como a futura integração de abordagens de aprendizagem digital no quadro de qualificações I/EWE. O relatório identifica as áreas em que as tecnologias de XR podem proporcionar o maior valor educativo, tendo em conta tanto as oportunidades como as limitações da sua implementação na formação em soldadura e na formação industrial.

A análise, baseada no feedback recolhido junto de engenheiros de soldadura, formadores e representantes da indústria em todo o consórcio do projeto, destaca um forte interesse na utilização de tecnologias XR para melhorar a formação em soldadura. Embora o nível atual de adoção das tecnologias XR continue a ser limitado, a maioria dos inquiridos reconhece o potencial das soluções baseadas em RV/RA/IA para melhorar a eficácia da aprendizagem, a segurança e a acessibilidade.

As principais conclusões indicam que as tecnologias XR são particularmente relevantes para apoiar atividades de aprendizagem teóricas, analíticas e processuais, tais como a simulação de processos de soldadura, a definição de parâmetros, o feedback em tempo real sobre técnicas de soldadura, a identificação de defeitos, a otimização de WPS/PQR e a visualização de fenómenos metalúrgicos complexos. Os representantes da indústria e os peritos técnicos consideram estas aplicações altamente valiosas para melhorar a compreensão e preparar os formandos antes da formação prática em equipamento real.

Ao mesmo tempo, a análise confirma que as soluções de XR devem complementar, e não substituir, a formação prática. A experiência prática com equipamento de soldadura real, incluindo feedback sensorial e condições do local de trabalho, continua a ser essencial para o desenvolvimento de competências psicomotoras e para a certificação profissional. Uma abordagem de aprendizagem mista, que combine atividades digitais baseadas em XR com a formação prática tradicional, é, por isso, considerada o modelo mais adequado.

O relatório conclui que as tecnologias XR podem contribuir significativamente para a modernização da formação em I/EWE, aumentando a flexibilidade, melhorando a eficiência da aprendizagem e apoiando a transformação digital do ensino da soldadura. As prioridades de formação identificadas e as recomendações servirão de base para o desenvolvimento de futuros materiais didáticos, cenários e quadros de formação baseados em XR no âmbito do projeto VIOLET.

2. Introdução

O presente relatório apresenta os resultados da análise de necessidades realizada no âmbito do projeto VIOLET, com o objetivo de identificar o nível atual de sensibilização, as necessidades de formação e as expectativas relativamente à utilização de tecnologias de Realidade Alargada (XR) na educação e formação de Engenheiros de Soldadura Internacionais/Europeus (I/EWE).

A análise baseia-se nas respostas a um questionário recolhidas junto de engenheiros de soldadura, formadores e representantes da indústria de todo o consórcio do projeto. As conclusões fornecem dados valiosos sobre os desafios atuais, as lacunas em competências digitais e as prioridades para a integração de tecnologias de aprendizagem inovadoras no ensino e formação profissionais.

O principal objetivo deste relatório é apoiar a conceção de soluções de formação modernas e centradas no formando, identificando as áreas em que as tecnologias de XR podem trazer o maior valor educativo. Os resultados irão orientar o desenvolvimento de materiais de aprendizagem digitais, cenários práticos de formação em XR e recomendações para a atualização da qualificação I/EWE, em consonância com as necessidades em evolução da indústria e a transformação digital do ensino profissional.

Este relatório constitui a base para as atividades subsequentes do projeto VIOLET, garantindo que o quadro de formação proposto se baseia em dados concretos, é relevante e está alinhado com os desenvolvimentos tecnológicos e os requisitos do mercado de trabalho.

2.1. Antecedentes e contexto

Os setores da indústria transformadora e da soldadura estão a passar por transformações significativas impulsionadas pela digitalização, pela automatização e pela crescente adoção de abordagens da Indústria 4.0 e da Indústria 5.0. Estas mudanças estão a criar novos requisitos em termos de competências profissionais, incluindo a capacidade de utilizar tecnologias digitais no âmbito de processos industriais e ambientes de formação.

Ao mesmo tempo, os sistemas de ensino e formação profissional enfrentam o desafio de adaptar as abordagens de aprendizagem existentes para responder às necessidades da indústria moderna. Os engenheiros de soldadura, formadores e profissionais técnicos necessitam de métodos de formação atualizados que combinem conhecimentos teóricos com experiência prática e competências digitais.

A Realidade Alargada (XR), incluindo a Realidade Virtual (VR) e a Realidade Aumentada (AR), representa uma oportunidade emergente para melhorar o ensino técnico e a formação

profissional. Estas tecnologias permitem experiências de aprendizagem imersivas, simulações realistas de cenários industriais e ambientes de prática seguros para o desenvolvimento de competências técnicas complexas.

Neste contexto, o projeto VIOLET responde à necessidade de explorar e integrar soluções baseadas em XR no percurso de educação e formação dos Engenheiros de Soldadura Internacionais/Europeus (I/EWE). O projeto visa apoiar a inovação na educação profissional através do desenvolvimento de abordagens de formação alinhadas com os avanços tecnológicos, as expectativas da indústria e os requisitos futuros em termos de competências.

2.2. Objetivos

O projeto VIOLET visa proporcionar um quadro para a modernização da qualificação I/EWE através do desenvolvimento de materiais de formação em linha e de ferramentas digitais, contribuindo para a melhoria da qualidade, acessibilidade e atratividade do ensino e formação profissionais no setor da soldadura.

Este relatório baseia-se na recolha e análise de dados de questionários, o que ajuda a identificar os conhecimentos, as competências e as necessidades de formação necessárias para a utilização eficaz das tecnologias XR.

2.3. Metodologia

Na fase inicial, foram elaborados dois questionários: um dirigido a engenheiros do setor da indústria transformadora e outro dirigido a partes interessadas da indústria. Para recolher a informação necessária ao desenvolvimento do quadro para a modernização da qualificação I/IWE, todos os parceiros do projeto identificaram grupos-alvo compostos por prestadores de formação e empresas de soldadura que pudessem participar nos inquéritos. Isto foi feito para criar uma base de dados de engenheiros e representantes do setor industrial que participariam nos dois questionários.

Posteriormente, o parceiro responsável pelos inquéritos (ASR) redigiu as perguntas do questionário, que foram depois revistas e avaliadas por todos os parceiros do projeto. Após terem sido acordadas as versões finais dos questionários, estes foram distribuídos às empresas industriais e aos engenheiros designados por cada parceiro.

Com base na análise das respostas ao inquérito, identificámos os interesses, objetivos, disponibilidade e expectativas das partes interessadas relativamente à metodologia de formação.

Além disso, para obter uma compreensão abrangente do quadro existente, foi realizada uma análise documental e os principais resultados foram resumidos. Por fim, são apresentados os resultados e conclusões mais relevantes obtidos no âmbito deste produto do projeto.

2.4. Caracterização do grupo-alvo

Com base na lista de empresas industriais e engenheiros proposta pelos parceiros, foram distribuídos questionários através das redes sociais e da lista de contactos de cada parceiro. Distribuídos através das redes sociais e da lista de contactos de cada parceiro. Recebemos 121 respostas de engenheiros e 44 do setor industrial. A caracterização do grupo-alvo envolvido nos questionários pode ser consultada nos gráficos abaixo, onde são indicados o cargo/função dos participantes (Figura 1), o país (Figura 2) e os anos de experiência (Figura 3)

3. Resultados e análise do inquérito

3.1. Resultados do inquérito do questionário aos engenheiros

3.1.1. Secção A: Perfil

Função dos participantes:

Conclusão (Figura 1): Um total de 121 participantes preencheu o inquérito. A maioria era constituída por Engenheiros Internacionais de Soldadura (IWE) (42,9% dos inquiridos), seguidos por Engenheiros (33,3% dos inquiridos). Os restantes participantes incluíram outras funções profissionais (12,2% dos inquiridos), formadores da IWE (4,1% dos inquiridos), examinadores (4,1% dos inquiridos) e coordenadores de cursos (3,4% dos inquiridos). Esta distribuição demonstra que o inquérito captou principalmente as perspetivas de profissionais diretamente envolvidos na engenharia de soldadura, ao mesmo tempo que incorporou contributos valiosos de especialistas em formação e avaliação.

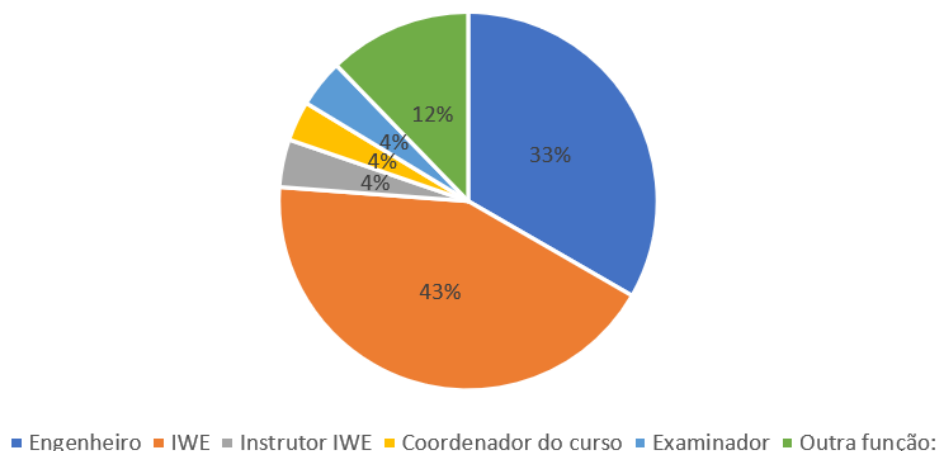


Figura 1. Função dos participantes

País de residência dos participantes

Conclusão (Figura 2): Um total de 1 participante de 11 países preencheu o inquérito. A maior participação registou-se na Roménia (48,6%), seguida de Portugal e da Polónia (14,4% cada), da Turquia e da Eslovénia (7,2% cada), dos Países Baixos (2,7%), da Alemanha (1,8%) e da Bélgica, Irlanda, França e Hungria (0,9% cada). Os resultados demonstram uma ampla participação internacional, proporcionando uma base sólida para o desenvolvimento do quadro de qualificações modernizado do I/IWE.

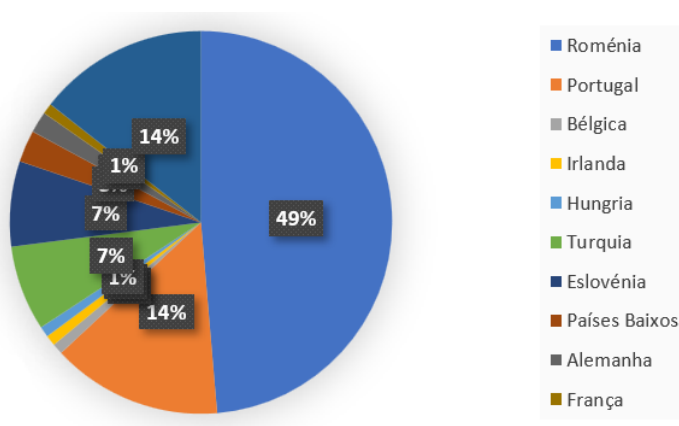


Figura 2. País de residência dos participantes

Experiência em soldadura:

Conclusão (Figura 3): Dos 121 inquiridos, 37,7% tinham mais de 10 anos de experiência em soldadura, 36,0% tinham menos de 5 anos e 26,3% tinham entre 5 e 10 anos. Esta distribuição reflete uma combinação equilibrada de profissionais experientes e em início de carreira.

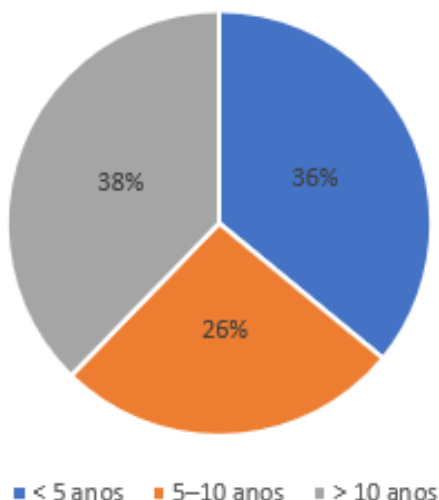


Figura 3. Experiência em soldadura

3.1.2. Secção B: Tecnologias digitais:

Utilização de RV/RA/IA na formação

Conclusão (Figura 4): Dos 121 inquiridos, 62,0% não tinham utilizado RV/RA/IA na formação, enquanto 38,0% tinham experiência anterior com estas tecnologias. Os resultados indicam que a utilização de RV/RA/IA na formação ainda é limitada, o que destaca o potencial para uma adoção mais ampla no ensino da soldadura.

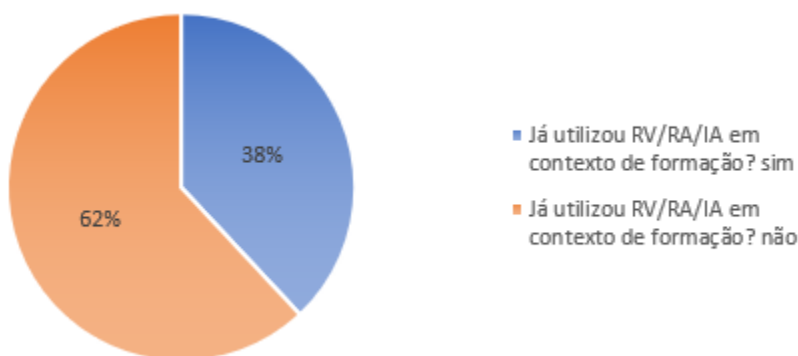


Figura 4. Utilização de RV/RA/IA na formação

Riscos percebidos da utilização de ferramentas digitais na formação em soldadura industrial:

Conclusão (Figura 5): Os resultados indicam que os riscos percebidos mais significativos da implementação da XR na formação em soldadura industrial são a falta de competências digitais dos formadores (27,9%) e o tempo necessário para se familiarizarem com as ferramentas de XR (25,0%), enquanto a baixa aceitação por parte dos formandos (18,0%), a sobrecarga tecnológica e (16,9%) e outras preocupações (12,2%) foram consideradas menos significativas.

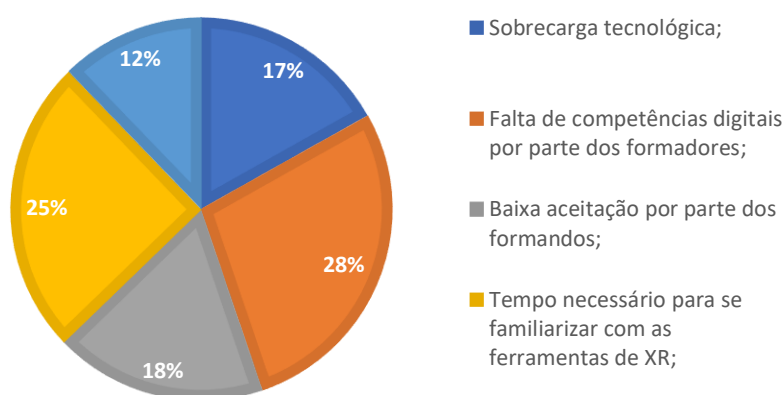


Figura 5. Riscos percebidos da utilização de ferramentas digitais na formação em IWE

3.1.3. Secção C: Processos de soldadura e corte:

Utilidade da simulação em RA/RV para a prática dos processos MMA/MIG-MAG/TIG — posições de soldadura e controlo do banho de fusão (de acordo com: IAB-089 – «Sistemas de Simulação de Soldadura»)

Conclusão (Figura 6): Os resultados indicam uma perceção altamente positiva da simulação em RA/RV para a prática dos processos de soldadura MMA/MIG-MAG/TIG. Mais de metade dos inquiridos classificou a sua utilidade como Boa (54,6%), enquanto 26,9% a consideraram Excelente. Apenas 3,4% classificaram-na como «Fracas» ou «Não útil», o que sugere uma ampla aceitação da simulação em RA/RV como uma ferramenta de formação eficaz para as posições de soldadura e o controlo do banho de fusão.



Figura 6. Utilidade das simulações de RV para MMA/MIG-MAG/TIG

Benefícios percebidos da RA/RV para a formação na definição de parâmetros (corrente/tensão/fluxo de gás) em equipamento real

Conclusões (Figura 7): Os resultados revelam um forte apoio à utilização da RA/RV na formação sobre a configuração de parâmetros em equipamento de soldadura real. A maioria dos inquiridos considerou que a RA/RV melhoraria a formação significativamente (53,3%) ou moderadamente (36,7%), enquanto apenas 9,2% esperavam uma ligeira melhoria e 0,8% não viam qualquer benefício. Estas conclusões indicam uma ampla confiança na RA/RV como ferramenta eficaz para melhorar a formação prática em soldadura.

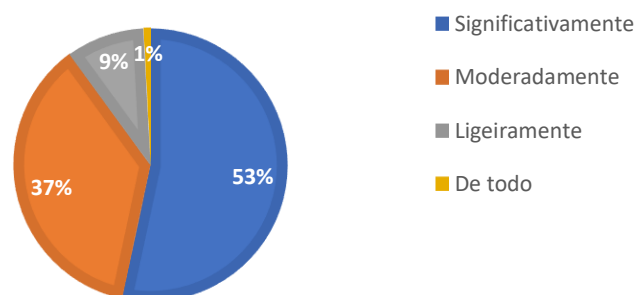


Figura 7. Benefícios percebidos da RA/RV para a formação sobre a configuração de parâmetros

Utilidade percebida da RA/RV/IA para fornecer feedback em tempo real sobre desvios (velocidade de deslocamento, ângulo da tocha)

Conclusões (Figura 8): Os resultados fornecem um forte apoio à utilização da RA/RV/IA para fornecer feedback em tempo real sobre desvios na soldadura. A maioria dos inquiridos classificou esta funcionalidade como «Muito útil» (59,5%) ou «Essencial» (23,1%), enquanto 14,9% a consideraram «Útil» e apenas 2,5% a classificaram como «Razoavelmente útil». De um modo

geral, os resultados destacam o elevado valor percebido do feedback inteligente em tempo real para melhorar a formação e o desempenho na soldadura.

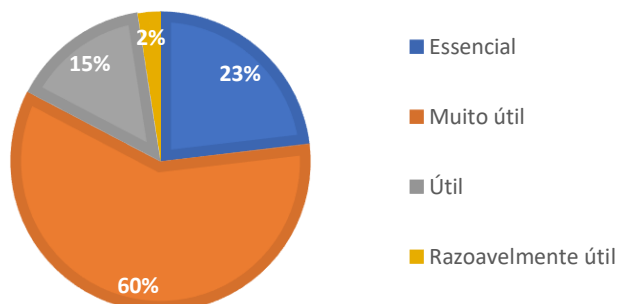


Figura 8. Utilidade percebida da RA/RV/IA para o feedback em tempo real

Relevância percebida da RV/RA para a formação em processos de corte (plasma, oxigás, laser) na demonstração e traçado de percursos de corte

Conclusões (Figura 9): Os resultados indicam que a RV/RA é amplamente considerada uma ferramenta valiosa para a demonstração de procedimentos de segurança e trajetórias de corte nos processos de corte por plasma, oxigás e laser. A maioria dos inquiridos classificou-a como «relevante» (55,4%) ou «altamente relevante» (35,5%), enquanto apenas 0,8% a considerou «irrelevante», confirmando um forte apoio à integração da RV/RA na formação sobre processos de corte.

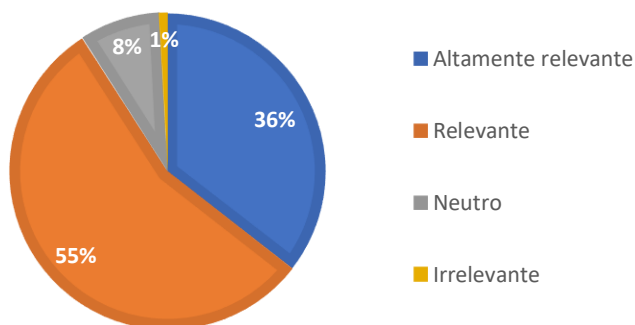


Figura 9. Relevância da RV/RA para a formação em processos de corte

Limitações percebidas como mais significativas das tecnologias de RV/RA/IA

Conclusões (Figura 10): Os principais desafios associados à implementação da XR são a falta de «sensação» física (44,8%) e os elevados custos de investimento inicial (30,4%). Outras preocupações, incluindo a complexidade da criação de conteúdos digitais (12,8%), o tempo

necessário para dominar as ferramentas de XR (7,2%) e a sobrecarga tecnológica (4,0%), foram referidas com menor frequência. Em geral, os resultados sugerem que o realismo técnico e os custos de implementação são as principais barreiras a uma adoção mais ampla da XR.

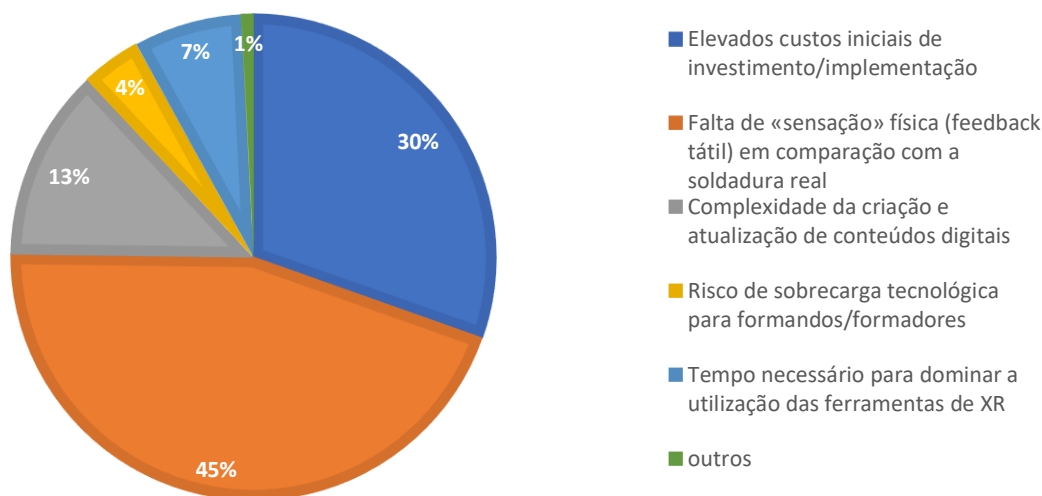


Figura 10. Limitações percebidas das tecnologias de RV/RA/IA

Principais benefícios percebidos das tecnologias de RV/RA/IA

Conclusões (Figura 11): Os resultados indicam que o principal benefício esperado das tecnologias XR é uma aprendizagem mais rápida (31,7%), seguido de uma maior segurança (28,5%) e da redução de resíduos (24,4%). O feedback em tempo real (15,4%) foi selecionado com menos frequência, sugerindo que os inquiridos valorizam principalmente as tecnologias XR pelo aumento da eficiência da aprendizagem e dos resultados da formação

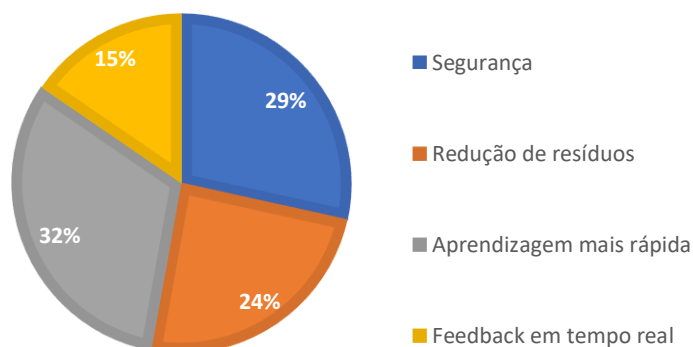


Figura 11. Principais benefícios percebidos das tecnologias de RV/RA/IA

3.1.4. Secção D: Materiais e o seu comportamento durante a soldadura

Valor percebido do modelo de RV/RA que destaca as transformações na zona afetada termicamente (HAZ/ZIT), as distorções e o aumento da tensão residual para a compreensão dos fenómenos metalúrgicos

Conclusões (Figura 12): Os resultados indicam que 54,5% dos inquiridos acreditam que um modelo de RV/RA melhoraria significativamente a compreensão dos fenómenos metalúrgicos, enquanto 41,3% o consideram um bom apoio para as aulas teóricas. Apenas 2,5% consideram que o impacto é mínimo e 1,7% acreditam que os métodos tradicionais são suficientes.

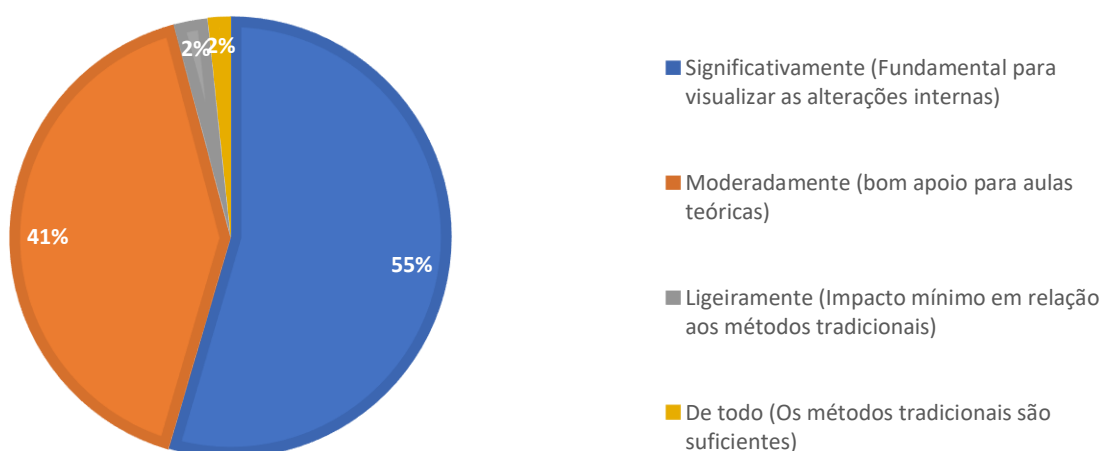


Figura 12. Valor percebido da RV/RA para a compreensão de fenómenos metalúrgicos

Utilidade percebida da RA/RV/IA na previsão da dureza, do risco de fissuração a frio ou a quente e do pré-aquecimento/PH, OWHT (TTPS)

Conclusões (Figura 13): Os resultados indicam que a maioria dos inquiridos considera a RA/RV/IA valiosa para a revisão técnica de acordo com a norma ISO 14731, com 42,1% a considerar estas tecnologias muito úteis e 25,6% a classificá-las como essenciais. Outros 26,4% consideram-nas úteis para cálculos preliminares, enquanto apenas 5,0% percebem um valor prático limitado e 0,8% as consideram inúteis.

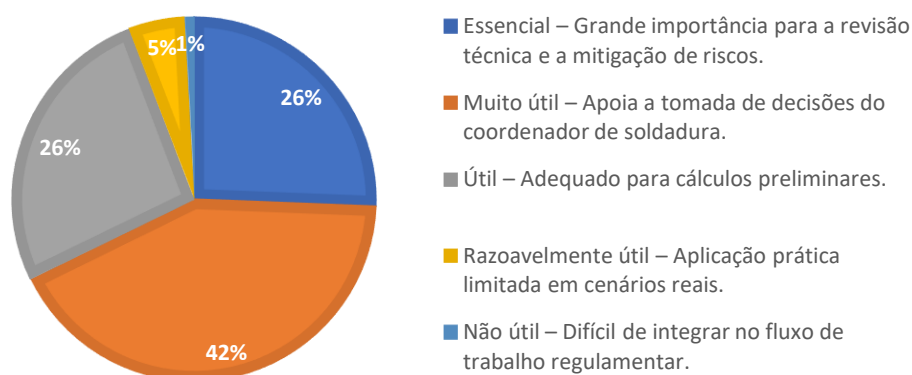


Figura 13. Utilidade percebida da RA/RV/IA na previsão de parâmetros de soldadura

Valor percebido da RV/RA para a compreensão da influência dos materiais de adição e dos gases de proteção na microestrutura

Conclusão (Figura 14): Os resultados indicam que 62,0% dos inquiridos acreditam que a RV/RA pode apoiar a compreensão da influência dos materiais de adição e dos gases de proteção na microestrutura. Em comparação, 35,5% acreditam que pode fornecer um apoio parcial. Apenas 2,5% consideram que a RV/RA não contribui para esta compreensão

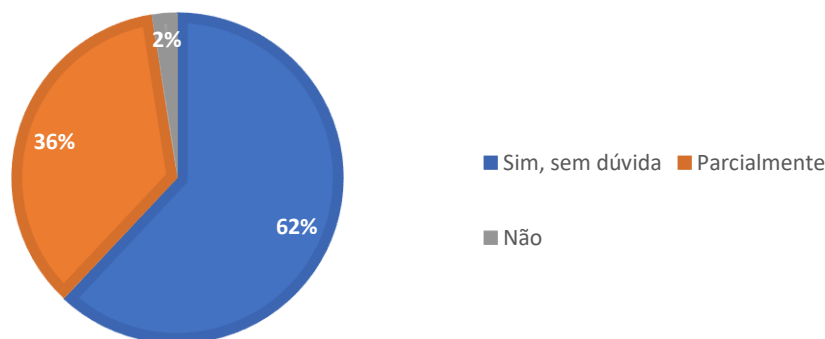


Figura 14. Valor da RV/RA para a compreensão da influência dos materiais de adição e dos gases de proteção na microestrutura

Simulações preferidas para a aprendizagem profunda do comportamento dos materiais na soldadura

Conclusão (Figura 15): Os resultados indicam que a simulação mais valiosa para a aprendizagem profunda do comportamento dos materiais na soldadura é a das «Transformações de Fase e Diagramas CCT» (47,4%), seguida dos «Fenómenos de Fissuração» (36,8%). Em contrapartida, o

«Mecanismo de Solidificação » (8,3%) e o «Tratamento Térmico Pós-Soldadura» (7,5%) são considerados menos importantes pelos inquiridos

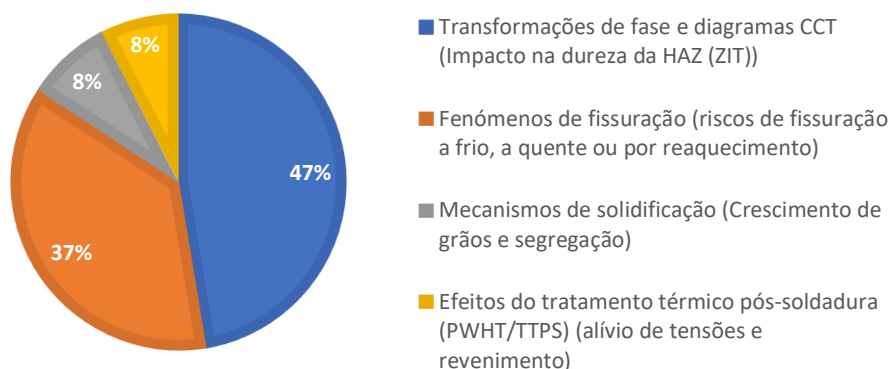


Figura 15. Simulações preferidas para a aprendizagem profunda do comportamento na soldadura

3.1.5. Secção E: Conceção de estruturas soldadas:

Os benefícios percebidos da visualização em 3D/VR/AR das juntas e da acessibilidade das soldaduras incluem um melhor projeto em termos de fabricabilidade e a redução de deformações

Conclusão (Figura 16): Os resultados indicam que 52,9% dos inquiridos acreditam que a visualização em 3D/VR/AR das juntas e da acessibilidade das soldaduras melhoraria significativamente o projeto em termos de fabricabilidade e reduziria as distorções, enquanto 41,3% consideram-na moderadamente benéfica. Apenas 5,8% percebem uma ligeira melhoria, o que indica um forte apoio geral à utilização destas tecnologias no projeto e fabrico de soldaduras.

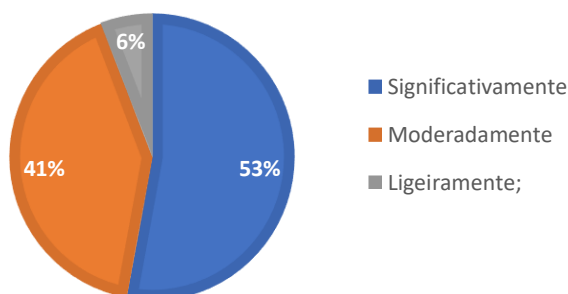


Figura 16. Benefícios percebidos da visualização em 3D/VR/AR para o projeto com vista à fabricabilidade

Utilidade percebida da RA/RV para juntas soldadas sobrepostas e sequência de soldadura diretamente na peça, a fim de evitar limitações e deformações

Conclusão (Figura 17): Os resultados indicam que a maioria dos inquiridos considera a RA/RV altamente benéfica para a visualização de juntas soldadas e sequências de soldadura, com 52,9% a classificar estas tecnologias como muito úteis e 24,0% como extremamente úteis. Além disso, 22,3% consideram-nas úteis, enquanto apenas 0,8% as consideram apenas um pouco úteis, o que demonstra um forte apoio à aplicação da RA/RV para melhorar o planeamento da soldadura e reduzir as limitações de fabrico e as deformações.

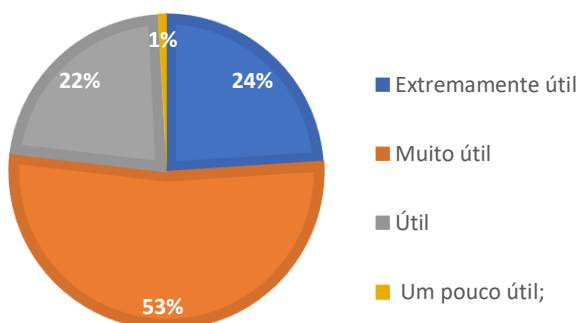


Figura 17. Utilidade percebida da RA/RV para o planeamento da sequência de soldadura e a acessibilidade das juntas

Adequação percebida da utilização de RA/RV/IA para a otimização do projeto (por exemplo, posicionamento de juntas, espessura, cordões) com base em dados experimentais

Conclusão (Figura 18): Os resultados indicam que os inquiridos apoiam fortemente a utilização de RA/RV/IA para a otimização do projeto de soldadura com base em dados experimentais, com 47,9% a considerá-la adequada e 42,1% a considerá-la altamente adequada. Apenas 9,1% expressaram uma opinião neutra, enquanto apenas 0,8% consideraram estas tecnologias inadequadas.

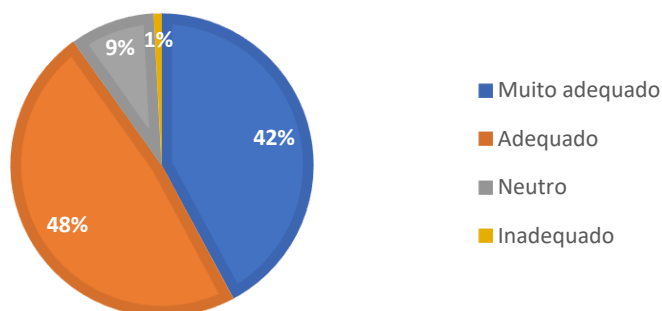


Figura 18. Adequação percebida da RA/RV/IA para a otimização do projeto

Funcionalidades digitais essenciais para o projeto de estruturas soldadas

Conclusão (Figura 19): Os resultados indicam que as simulações termomecânicas são consideradas a funcionalidade digital mais essencial para o projeto de estruturas soldadas, representando 51,1% das respostas. A integração de bibliotecas de WPS foi selecionada por 30,5% dos inquiridos, enquanto 18,4% identificaram a automatização das verificações normativas como a funcionalidade mais importante.

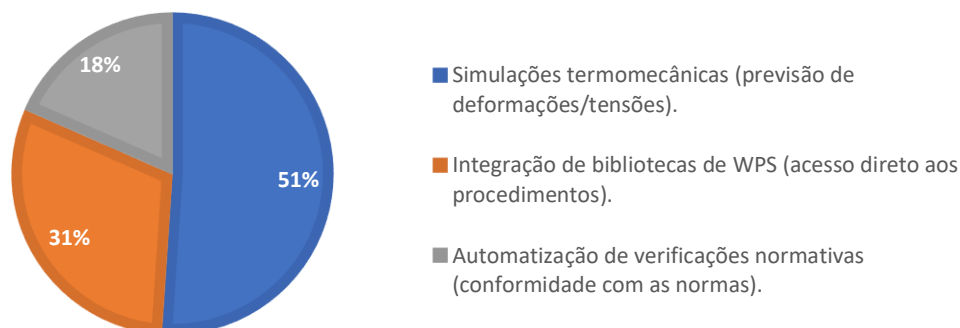


Figura 19. Funcionalidades digitais essenciais para o projeto de estruturas soldadas

3.1.6. Secção F: Problemas de fabrico de estruturas soldadas

Utilidade percebida da RA/RV para simular o fluxo de fabrico (montagem-soldadura-NDT) com vista a identificar pontos de estrangulamento e áreas de risco

Conclusão (Figura 20): Os resultados indicam um forte apoio à utilização de RA/RV na simulação do fluxo de fabrico (montagem → soldadura → NDT), com 45,0% dos inquiridos a classificar a sua utilidade como elevada e 36,7% como muito elevada. Outros 16,7% consideraram-na moderadamente útil, enquanto apenas 1,7% perceberam pouco ou nenhum valor, destacando o potencial da RA/RV para identificar gargalos de produção e áreas de risco

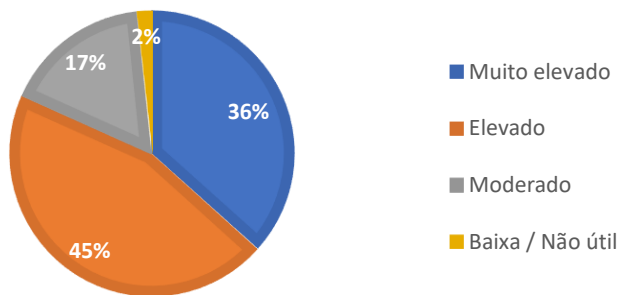


Figura 20. Utilidade percebida da RA/RV para a simulação do fluxo de fabrico

Eficiência percebida da RA/RV na redução de erros de montagem (alinhamento, configuração de juntas) antes da soldadura

Conclusão (Figura 21): Os resultados indicam que os inquiridos consideram a RA/RV altamente eficaz na redução de erros de montagem antes da soldadura por arco, com 38,3% a classificar a sua eficiência como elevada e 35,8% como significativa. Além disso, 25,0% consideram-na moderadamente eficaz, enquanto apenas 0,8% percebem um benefício ligeiro, demonstrando forte confiança na utilização da RA/RV para melhorar o alinhamento da montagem e a configuração das juntas.

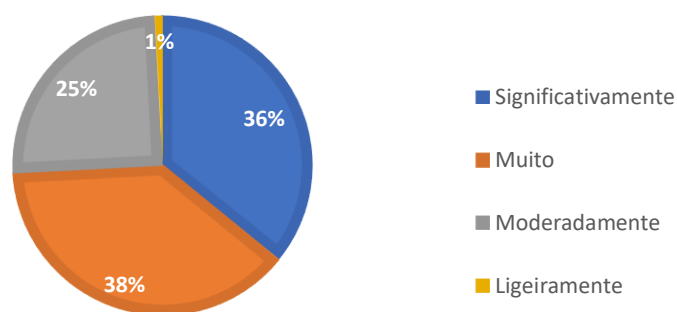


Figura 21. Eficiência percebida da RA/RV na redução de erros de montagem

Utilidade em tempo real percebida da RA/RV/IA na identificação de não conformidades (por exemplo, parâmetros fora de tolerância) para evitar reparações

Conclusão (Figura 22): Os resultados indicam que os inquiridos apoiam fortemente a utilização de RA/RV/IA para a identificação em tempo real de não conformidades, com 47,9% a classificar

estas tecnologias como muito úteis e 34,5% como extremamente úteis. Apenas 16,8% consideraram-nas úteis, enquanto apenas 0,8% as consideraram inúteis.

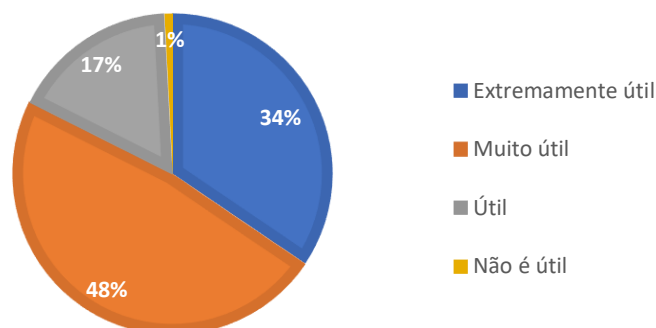


Figura 22. Utilidade percebida da RA/RV/IA para a deteção de não-conformidades em tempo real

Contribuição percebida da RV/RA/IA para a conformidade com a norma ISO 3834 na inspeção pré, durante e pós-soldadura e na rastreabilidade de materiais e consumíveis

Conclusão (Figura 23): Os resultados indicam que 43,8% dos inquiridos acreditam que a RV/RA/IA facilita moderadamente a conformidade com os requisitos da norma ISO 3834, enquanto 39,7% consideram que a contribuição é significativa. Apenas 14,9% referiram uma contribuição ligeira e 1,7% consideraram que estas tecnologias não facilitam de todo a conformidade.

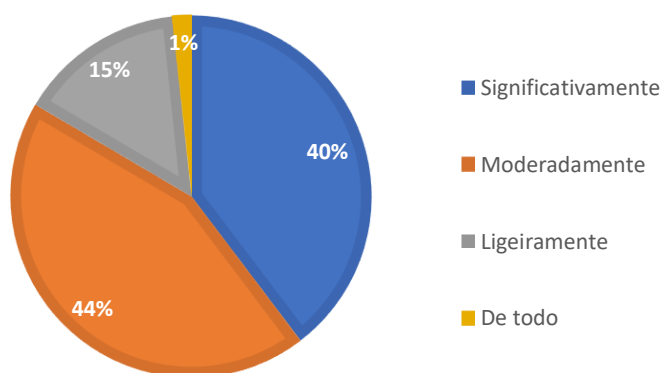


Figura 23. Contribuição percebida da RV/RA/IA para a conformidade com a norma ISO 3834

Elementos essenciais a incluir numa oficina virtual ideal para formação profissional

Conclusão (Figura 24): Os resultados indicam que a simulação física em tempo real do banho de fusão é considerada o elemento mais essencial de um workshop virtual ideal (68,6%), seguida da simulação da configuração do equipamento (26,4%), enquanto os cenários de risco de segurança foram selecionados por apenas 5,0% dos inquiridos.

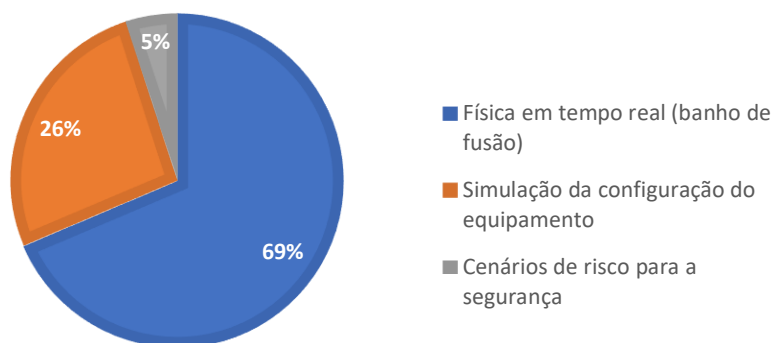


Figura 24. Elementos essenciais de uma oficina virtual ideal para formação profissional

Utilidade percebida da RV/RA para a deteção de defeitos em tempo real (por exemplo, porosidade, recorte) durante os processos

Conclusão (Figura 25): Os resultados indicam um forte apoio às ferramentas de RV/RA que fornecem alertas de defeitos em tempo real durante a soldadura, com 51,2% dos inquiridos a considerá-las essenciais e 43,0% a considerá-las úteis. Apenas 4,1% classificaram-nas como «razoavelmente úteis», enquanto 1,7% as consideraram «não úteis».

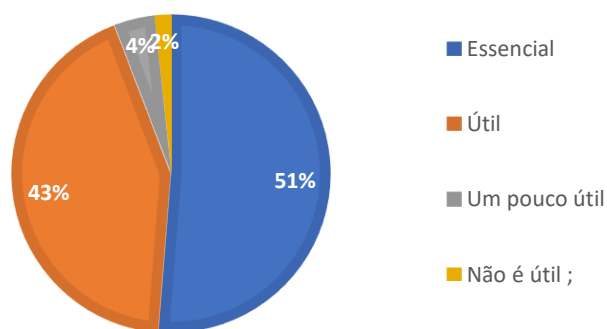


Figura 25. Utilidade percebida da RV/RA para a deteção de defeitos em tempo real

Utilidade percebida da utilização de RV/RA para simular cálculos de soldadura (por exemplo, taxas de arrefecimento, entrada de calor) para melhorar o processo de desenvolvimento de PQR e WPS

Conclusão (Figura 26): Os resultados indicam um forte apoio à utilização de RV/RA para simular cálculos de soldadura para o desenvolvimento de PQR e WPS, com 47,5% dos inquiridos a classificá-la como altamente útil e 45,0% como útil. Apenas 5,0% consideraram-na «um pouco útil», enquanto 2,5% consideraram-na «não útil».

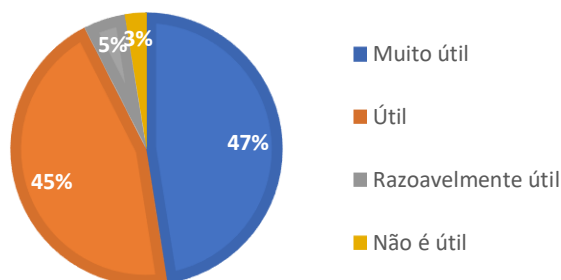


Figura 26. Utilidade percebida da RV/RA para simular cálculos de soldadura

Exercícios laboratoriais de RV/RA preferidos para a formação profissional

Conclusão (Figura 27): Os resultados indicam que a Inspeção Visual foi o exercício laboratorial de RV/RA mais preferido (35,3%), seguido da Gestão de Reparações (21,8%), da Auditoria Virtual (21,4%) e da Validação de Procedimentos (20,7%). Apenas 0,8% dos inquiridos selecionaram outros tipos de exercícios. Fim do formulário

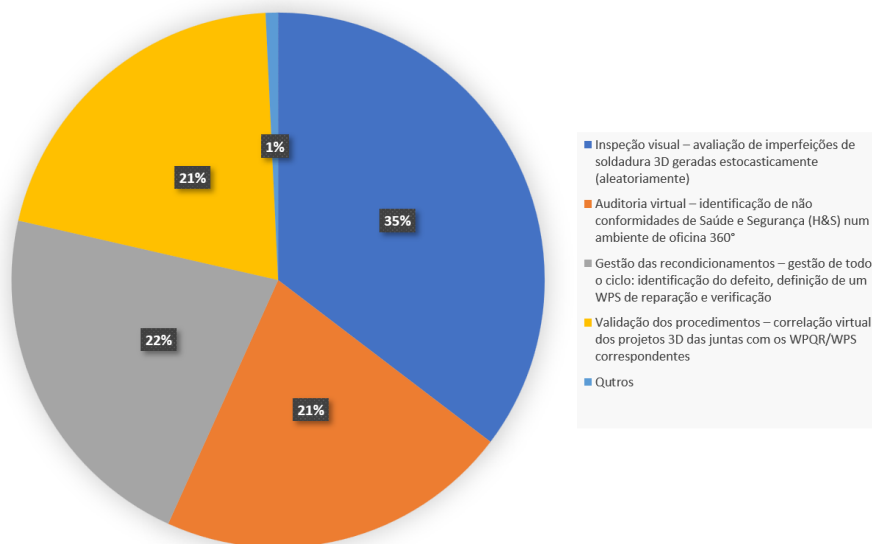


Figura 27. Exercícios laboratoriais de RV/RA preferidos para a formação profissional

3.1.7. Secção G: Âmbito da Formação Estratégica para a Validação dos Benefícios da XR

A revisão técnica (ISO 14731) considerou útil a utilização de AR/VR para verificar a acessibilidade do maçarico em geometrias 3D complexas antes da produção

Conclusão (Figura 28): Os resultados indicam um forte apoio à utilização da RA/RV para avaliar a acessibilidade do maçarico durante a revisão técnica da norma ISO 14731, com 45,5% dos inquiridos a classificá-la como altamente valiosa e 31,4% a considerá-la estrategicamente importante. Apenas 19,0% perceberam um valor moderado, enquanto 4,1% consideraram que não tinha qualquer valor.

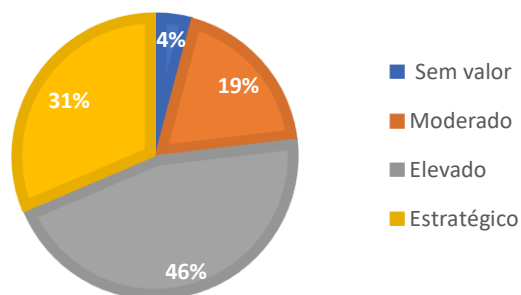


Figura 28. Utilidade percebida da RA/RV para a avaliação da acessibilidade do maçarico

Utilidade percebida da RA/RV na seleção de materiais e consumíveis em relação aos certificados digitais

Conclusão (Figura 29): Os resultados indicam um forte apoio à utilização da RA/RV para validar virtualmente materiais e consumíveis em relação aos certificados digitais, com 49,2% dos inquiridos a classificá-la como altamente valiosa e 26,7% como estrategicamente importante. Apenas 20,0% consideraram que tinha um valor moderado, enquanto 4,2% consideraram que não tinha qualquer valor.

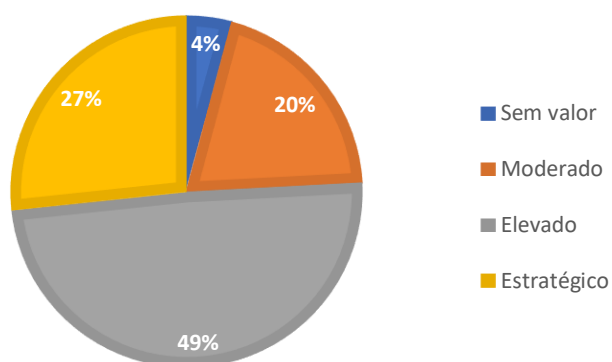


Figura 29. Utilidade percebida da RA/RV para a validação de materiais e consumíveis

Utilidade percebida da simulação 3D de imperfeições de soldadura para a inspeção e ensaio de juntas soldadas

Conclusão (Figura 30): Os resultados indicam um forte apoio à utilização de imperfeições de soldadura em 3D geradas aleatoriamente na formação em NDT/DT, com 45,5% dos inquiridos a classificar esta abordagem como altamente valiosa e 30,6% como estrategicamente importante. Apenas 21,5% consideraram que tinha um valor moderado, enquanto 2,5% consideraram que não tinha qualquer valor.

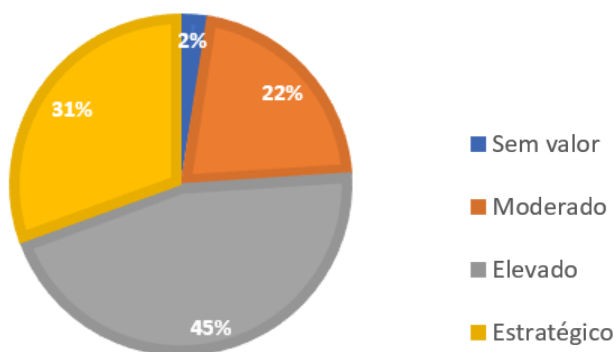


Figura 30. Utilidade percebida da simulação 3D de imperfeições em soldaduras para a inspeção de soldaduras

Utilidade percebida da RA/RV para formação em gestão de não conformidades, ações corretivas e gestão do ciclo de reparação, desde a deteção do defeito até à sua resolução

Conclusão (Figura 31): Os resultados indicam um forte apoio à utilização da RA/RV para gerir o ciclo de reparação, com 44,2% dos inquiridos a classificá-la como altamente valiosa e 35,8% como estrategicamente importante. Apenas 17,5% consideraram-na moderadamente valiosa, enquanto 2,5% consideraram que não tinha qualquer valor.

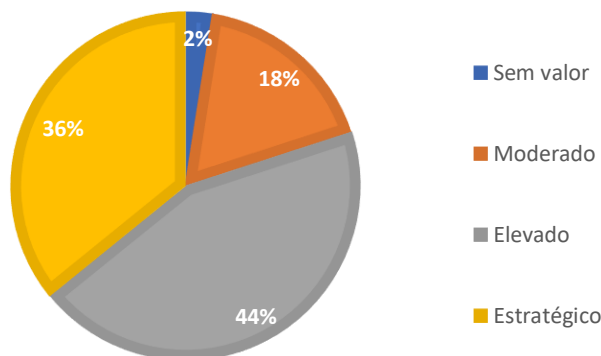


Figura 31. Utilidade percebida da RA/RV para a gestão do ciclo de reparação

Utilidade percebida da XR para avaliar e monitorizar os níveis de desempenho do pessoal de soldadura

Conclusão (Figura 32): Os resultados indicam perceções positivas da XR para a qualificação do pessoal de soldadura, com 40,5% dos inquiridos a classificá-la como altamente valiosa e 24,0% como estrategicamente importante. Entretanto, 29,8% atribuíram-lhe um valor moderado e apenas 5,8% consideraram que não tinha qualquer valor.

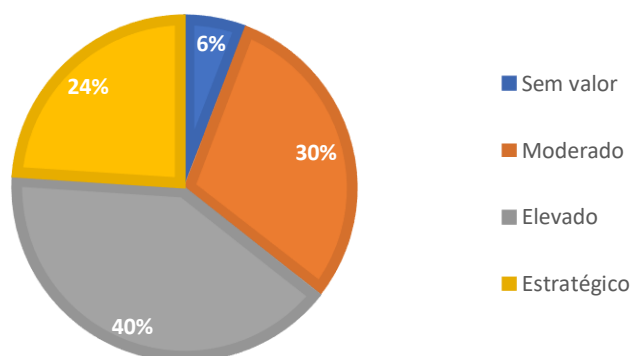


Figura 32. Utilidade percebida da XR para a qualificação do pessoal de soldadura

Utilidade percebida da XR para a visualização do tratamento térmico (PWHT): taxas de arrefecimento e requisitos de pré-aquecimento para prevenir fissuras

Conclusão (Figura 33): Os resultados indicam um forte apoio à utilização da XR para visualizar o PWHT, as taxas de arrefecimento e os requisitos de pré-aquecimento, com 51,7% dos inquiridos a classificá-la como altamente valiosa e 30,0% como estrategicamente importante. Apenas 17,5% consideraram-na de valor moderado, enquanto apenas 0,8% consideraram que não tinha qualquer valor.

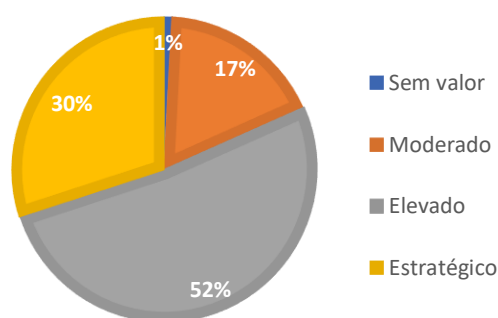


Figura 33. Utilidade percebida da XR para a visualização do PWHT

Utilidade percebida da XR para a auditoria virtual: identificação de não conformidades de segurança e ambientais numa auditoria virtual de 360° à oficina.

Conclusão (Figura 34): Os resultados indicam um forte apoio à utilização da XR na auditoria virtual, com 43,0% dos inquiridos a classificá-la como altamente valiosa e 25,6% como estrategicamente importante. Entretanto, 28,1% consideraram-na de valor moderado e apenas 3,3% consideraram que não tinha qualquer valor.

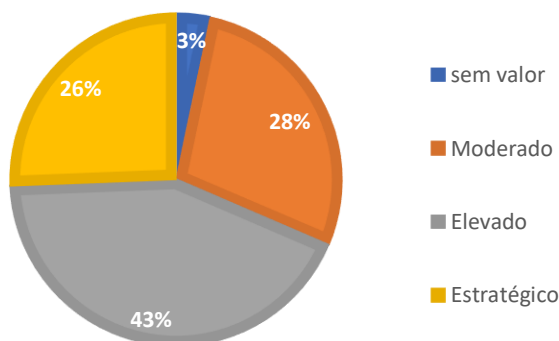


Figura 34. Utilidade percebida da XR para auditorias virtuais

Utilidade percebida da XR para a determinação de procedimentos de soldadura (WPS/PQR)

Conclusão (Figura 35): Os resultados indicam um forte apoio à utilização da XR no desenvolvimento de WPS/PQR, com 50,4% dos inquiridos a classificá-la como altamente valiosa e 30,3% como estrategicamente importante. Apenas 16,8% consideraram-na de valor moderado, enquanto 2,5% consideraram que não tinha qualquer valor.

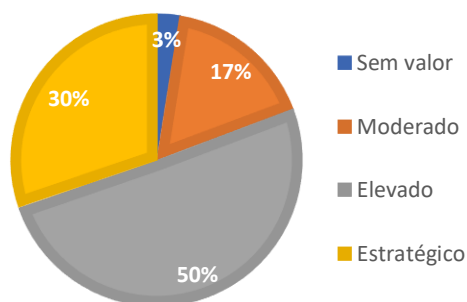


Figura 35. Utilidade percebida da XR para o desenvolvimento de WPS/PQR

Utilidade percebida da XR para a recolha de dados sobre defeitos de soldadura

Conclusão (Figura 36): Os resultados indicam um apoio muito forte à utilização da XR para a recolha de dados sobre defeitos de soldadura, com 49,6% dos inquiridos a classificá-la como estrategicamente importante e 39,7% como altamente valiosa. Apenas 9,9% consideraram que tinha um valor moderado, enquanto apenas 0,8% consideraram que não tinha qualquer valor.

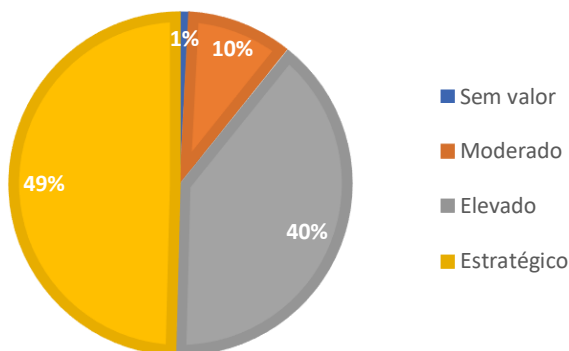


Figura 36. Utilidade percebida da XR para a recolha de dados sobre defeitos de soldadura

Utilidade percebida da XR para a monitorização da entrada de calor em processos de soldadura

Conclusão (Figura 37): Os resultados indicam um forte apoio à utilização da XR para monitorizar a entrada de calor em processos de soldadura, com 48,8% dos inquiridos a classificá-la como altamente valiosa e 34,7% como estrategicamente importante. Apenas 14,9% consideraram que tinha um valor moderado, enquanto apenas 1,7% consideraram que não tinha qualquer valor.

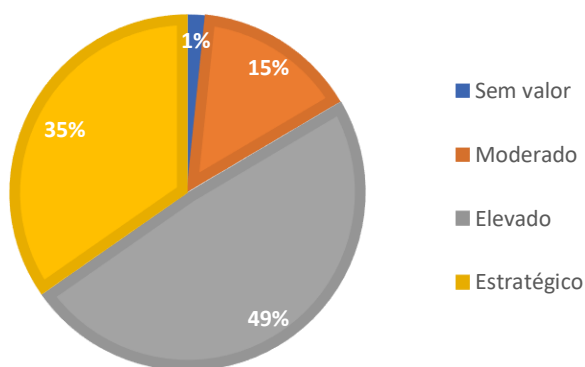


Figura 37. Utilidade percebida da XR para a monitorização da entrada de calor

Utilidade percebida da XR no projeto de juntas soldadas

Conclusão (Figura 38): Os resultados indicam que as tecnologias de XR são consideradas altamente valiosas para a conceção de juntas soldadas, com 48,8% dos inquiridos a classificar o seu valor como «Elevado» e 32,2% como «Estratégico». Apenas 18,2% consideraram o valor «Moderado», enquanto 0,8% não viram qualquer valor, o que demonstra uma forte confiança no potencial da XR para apoiar a conceção de juntas soldadas.

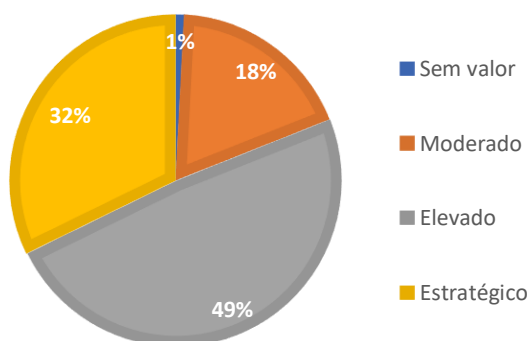


Figura 38. Utilidade percebida da XR para a conceção de juntas soldadas

Comentários adicionais

Relativamente aos processos de soldadura e corte:

- *Uma ideia muito boa que merece ser implementada!*

- *Acredito que, para uma pessoa decidir se iria realmente gostar de soldar na prática, é essencial experimentar o feedback real envolvido — como ruído, cheiro, luz e outras sensações físicas. É por isso que a prática hands-on continua a ser fortemente defendida e necessária em qualquer área de atividade, pois ajuda a pessoa a determinar se deseja genuinamente aprender processos específicos de soldadura, trabalhar como soldador, montar componentes e lidar com a complexidade da profissão, de acordo com a sua própria motivação e vontade de aprender. A soldadura é um processo especial e um dos mais importantes na fabricação de metais. Embora possamos aprender quase tudo — matemática, línguas, física, segurança no trabalho, etc. — com a ajuda da IA e da Realidade Virtual, as competências físicas exigem uma abordagem física; caso contrário, não podemos treinar o cérebro para executar determinados movimentos simplesmente observando-os.*

- *Estas tecnologias são excelentes ferramentas para a aprendizagem acelerada, a normalização e a segurança, mas não podem substituir a experiência prática e sensorial necessária para a certificação e o desempenho de um soldador profissional.*

- *«Como conclusão técnica e pedagógica relativamente à integração das tecnologias XR na formação de IWE (Engenheiro Internacional de Soldadura), é essencial encarar estas ferramentas não como uma solução universal ou uma «solução milagrosa», mas sim como um catalisador de competências. Os seguintes argumentos adicionais e justificações técnicas apoiam as avaliações anteriores, particularmente no que diz respeito aos processos de soldadura e corte: 1. Justificação processo a processo (MMA vs. MIG/MAG vs. TIG). Para o processo MMA (111): A importância da XR é fundamental para o domínio do movimento tridimensional. O formando deve realizar dois movimentos simultaneamente: deslocamento linear ao longo da junta e avanço progressivo do eletrodo em direção ao banho de fusão à medida que o eletrodo se consome. O simulador é ideal para isolar e dominar esta coordenação precisa. Para o processo MIG/MAG (135): A correlação entre a velocidade de alimentação do fio (vs) e a tensão do arco (U) determina o modo de transferência (curto-circuito, spray, globular). O XR permite visualizar graficamente a janela de funcionamento (WPS) na qual estas variáveis funcionam de forma ideal, proporcionando ao futuro engenheiro uma compreensão intuitiva da estabilidade do arco. Para o processo TIG (141): Embora a sua utilidade seja moderada devido à complexidade tátil, a XR elimina um dos erros mais dispendiosos dos principiantes: tocar com o eletrodo de tungsténio no banho de fusão ou na barra de adição, uma ação que, na prática real, contamina imediatamente a soldadura e obriga a interromper o trabalho para que o eletrodo possa ser reafiado. 2. Processos de corte (oxigás, plasma, laser) Embora o foco se centre frequentemente na soldadura, a formação da IWE também inclui tecnologias de corte térmico. Neste caso, a simulação em RV/RA é extremamente útil para o corte com oxigás: proporciona uma compreensão visual da chama de pré-aquecimento (chama neutra, carbonizante ou oxidante) e do controlo da distância entre o bico e a chapa para*

evitar o retorno de chama, que constitui um risco de segurança significativo na prática real. No corte por plasma, é importante manter o ângulo correto da tocha para obter um corte perpendicular sem formação excessiva de escória. 3. O argumento económico e de sustentabilidade na perspetiva de um gestor de programas IWE: para além da rapidez de aprendizagem, os argumentos ecológicos e financeiros são irrefutáveis. Uma hora de soldadura virtual significa: zero emissões de fumos e gases de soldadura (reduzindo os custos de ventilação e filtragem da oficina); zero consumo de gases de proteção dispendiosos (argônio, misturas de hélio) e metais de adição (aços de alta liga, alumínio); zero resíduos (placas de teste cortadas e soldadas apenas para serem descartadas como sucata). Reflexão final: as tecnologias potenciadas pela IA transferem o peso da formação da área da «tentativa e erro físicos» — onde os formandos desperdiçam materiais para compreender um conceito — para a área da «análise cognitiva preliminar». Quando o formando entra finalmente na oficina real, já não é um principiante confuso, mas sim um operador informado que utiliza a cabina de soldadura apenas para calibrar a sensação física que a tecnologia ainda não consegue replicar.»

Comentários adicionais

Apresentar informações técnicas específicas sobre o comportamento dos materiais, especialmente no que diz respeito às normas ISO

As tecnologias de XR/IA podem melhorar a formação em engenharia de soldadura, ajudando os formandos a compreender os fenómenos metalúrgicos, os parâmetros de soldadura e os requisitos da ISO através de simulação e visualização d . No entanto, devem ser utilizadas como ferramentas educativas complementares, e não como substitutos de testes reais e da experiência prática.

As tecnologias de RV/RA e IA são ferramentas valiosas para a formação e a análise preliminar, mas não podem substituir os ensaios reais nem os conhecimentos técnicos exigidos pelas normas ISO. Devem ser utilizadas como ferramentas de apoio à tomada de decisões, e não como substitutos ou alternativas aos processos de qualificação e verificação.

Comentários adicionais:

Como a RV/RA/IA podem otimizar a conceção de estruturas soldadas:

- *Simulação de juntas soldadas em condições extremas, tais como folga estreita, desalinhamento, folga larga, etc.*
- *A RV/RA e a IA podem otimizar a conceção de estruturas soldadas, permitindo a identificação precoce de limitações, a visualização das condições de acesso e das sequências de soldadura, bem como a redução de distorções através de simulações, recomendações baseadas em dados, formação e acesso a bases de dados.*

- A aplicação combinada da Realidade Virtual (RV) para avaliação ergonómica, análise de acessibilidade e visualização geométrica em escala real, da Realidade Aumentada (RA) para orientação de execução em tempo real e prevenção de erros, e da Inteligência Artificial (IA) para análise metalúrgica preditiva, otimização estrutural e apoio inteligente à tomada de decisões transforma fundamentalmente o papel do Engenheiro Internacional de Soldadura (IWE). Em vez de atuar exclusivamente como projetista de juntas soldadas, o IWE torna-se um gestor do ciclo de vida das estruturas soldadas, capaz de garantir a conformidade com as normas internacionais, melhorar o desempenho estrutural e a segurança, reduzir defeitos de fabrico e deformações e alcançar uma otimização económica substancial ao longo de todo o processo de projeto, fabrico e manutenção.

3.1.8 Comentários finais do questionário aos engenheiros

- *É uma excelente ideia que merece ser implementada!*
- *Estou disponível para colaborar na otimização dos métodos de ensino e no trabalho com RV e IA.*
- *Acredito que cada IWE deve ter uma visão global dos projetos em que está envolvido e deve manter flexibilidade nas suas relações com o encarregado de soldadura e os soldadores.*
- *Deve ser dada maior ênfase à preparação de WPS, ficheiros de qualificação, ficheiros de aprovação e à aprendizagem das variáveis essenciais. Para além de saber calcular a temperatura de pré-aquecimento e realizar outros cálculos técnicos, um engenheiro de soldadura deve também saber preparar um ficheiro de qualificação, um ficheiro de renovação de autorização e um ficheiro de qualificação de procedimentos de soldadura. Atualmente, o curso/exame baseia-se principalmente na memorização mecânica de informações. A formação prática é essencial, e a tecnologia de RV poderia apoiar significativamente o processo de aprendizagem.*
- *A integração da XR na qualificação I/EWE melhora a qualidade da formação ao simular condições de acesso, sequências de soldadura e riscos associados, ao mesmo tempo que proporciona um ambiente seguro e controlado para a análise técnica, a avaliação de competências e a compreensão de fenómenos térmicos, sem o consumo de recursos logísticos, materiais ou energia.*
- *Eu fiz formação na TWI, e esta dispõe de uma formação ONLINE muito bem estruturada que ajuda o aluno a aprender melhor e mais rapidamente.*
- *A implementação combinada de RV, RA, IA, gémeos digitais, simulações preditivas e análise inteligente de dados transforma fundamentalmente a formação e o papel profissional do Engenheiro de Soldadura Internacional/Europeu. Em vez de funcionar exclusivamente como um especialista responsável pelos procedimentos e documentação de soldadura, o moderno IWE/EWE torna-se um gestor do ciclo de vida digital de estruturas soldadas, capaz de integrar a otimização do projeto, a simulação de processos, a garantia de qualidade, a rastreabilidade, a manutenção preditiva e a gestão de riscos num fluxo de trabalho digital unificado.*

- *Em vez de atuar exclusivamente como especialista responsável pelos procedimentos de soldadura e pela documentação, o IWE/EWE moderno torna-se um gestor do ciclo de vida digital de estruturas soldadas, capaz de integrar a otimização do projeto, a simulação de processos, a garantia de qualidade, a rastreabilidade, a manutenção preditiva e a gestão de riscos num fluxo de trabalho digital unificado.*
- *Ao alinhar tecnologias digitais avançadas com normas internacionais — incluindo a ISO 14731, a ISO 3834, a ISO 15614-1, a ISO 13920, a ISO 9606, EN 1090, o Eurocódigo 3 e as diretrizes de formação da IIW/IAB — os futuros engenheiros de soldadura estarão mais bem preparados para melhorar o desempenho estrutural, reforçar a segurança, reduzir os custos de produção, acelerar os processos de qualificação e apoiar a transformação digital da indústria da soldadura no âmbito da Indústria 4.0 e além dela. Ao alinhar tecnologias digitais avançadas com normas internacionais — incluindo a ISO 14731, a ISO 3834, a ISO 15614-1, a ISO 13920, a ISO 9606, EN 1090, o Eurocódigo 3 e as diretrizes de formação da IIW/IAB — os futuros engenheiros de soldadura estarão mais bem preparados para melhorar o desempenho estrutural, reforçar a segurança, reduzir os custos de produção, acelerar os processos de qualificação e apoiar a transformação digital da indústria da soldadura no âmbito da Indústria 4.0 e para além dela. Ao alinhar tecnologias digitais avançadas com normas internacionais — incluindo a ISO 14731, a ISO 3834, a ISO 15614-1, a ISO 13920, a ISO 9606, EN 1090, o Eurocódigo 3 e as diretrizes de formação da IIW/IAB — os futuros engenheiros de soldadura estarão mais bem preparados para melhorar o desempenho estrutural, reforçar a segurança, reduzir os custos de produção, acelerar os processos de qualificação e apoiar a transformação digital da indústria da soldadura no âmbito da Indústria 4.0 e para além dela.*
- *Penso que a aplicação de RA/RV/RM ainda se encontra na fase de introdução, mas é importante procurar áreas adequadas.*
- *Entrarei em contacto consigo para perceber se existem possibilidades de colaboração com o projeto do consórcio.*
- *Se um soldador nunca se queimou nem se sufocou com o fumo, não é um verdadeiro soldador.*
- *Os simuladores podem ser integrados no currículo IWE/IWT/IWS, mas apenas como método de ensino complementar, não como substituto dos requisitos obrigatórios estabelecidos na norma IAB-252r5*
- *Recomenda-se uma combinação de atividades tradicionais/práticas com o novo sistema de qualificação IWE/IWT.*
- *A integração da XR tornar-se-á essencial para a formação de engenheiros de soldadura, uma vez que permite a validação da acessibilidade, a otimização de WPS/WPQR e a monitorização digital da qualidade em tempo real. A curto prazo, a XR acelera a aprendizagem; a médio prazo, uniformizará a avaliação de competências; e, a longo prazo, ligará a formação aos requisitos da ISO e aos fluxos de trabalho digitais na fábrica.*

3.2. Resultados do inquérito ao questionário destinado às partes interessadas do setor

Idade dos inquiridos

Conclusão (Figura 39): Os inquiridos apresentaram uma distribuição etária equilibrada, com 51,2% com mais de 40 anos e 48,8% com menos de 40 anos, garantindo uma representação equilibrada tanto de profissionais experientes como de profissionais mais jovens.

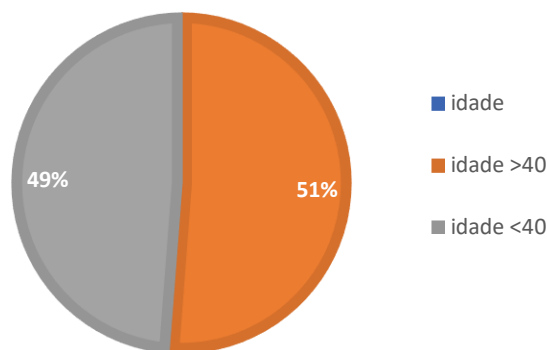


Figura 39. Idade dos inquiridos

Experiência em soldadura

Conclusão (Figura 40): Os inquiridos apresentavam um nível bem equilibrado de experiência em soldadura, com 49 % a terem entre 5 e 20 anos de experiência, enquanto 25,5 % tinham mais de 20 anos e 25,5 % tinham menos de 5 anos, garantindo a representação de diferentes níveis de experiência.

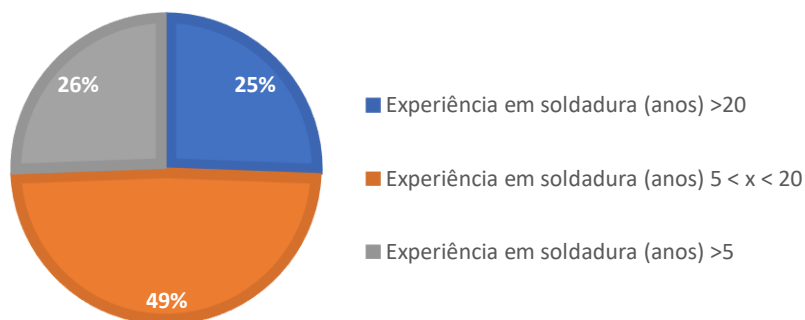


Figura 40. Experiência em soldadura

Função atual

Conclusão (Figura 41): Os inquiridos representam uma gama diversificada de funções profissionais, sendo que os engenheiros (46,5 %) e os engenheiros de soldadura (14,0 %) constituem a maior parte da amostra. Esta distribuição indica que o inquérito reflete principalmente as perspetivas dos profissionais técnicos, ao mesmo tempo que incorpora pontos de vista de cargos de gestão e académicos.

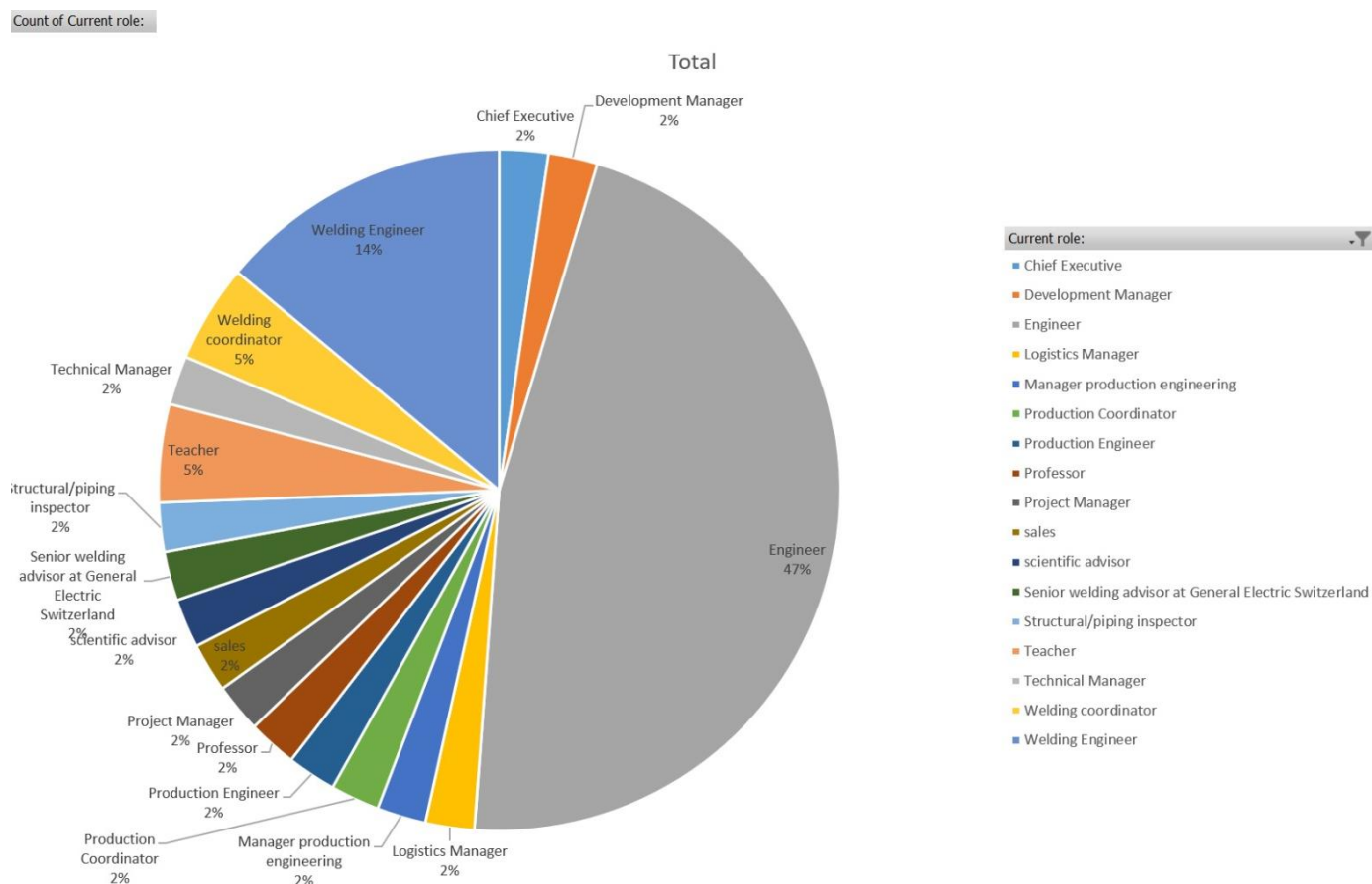


Figura 41. Função atual

Experiência anterior com RV/RA/IA

Conclusão (Figura 42): Os resultados mostram que a maioria dos inquiridos (75,0%) não tinha experiência anterior com tecnologias de RV/RA/IA, o que indica que estas tecnologias ainda são relativamente novas para a maioria dos participantes.

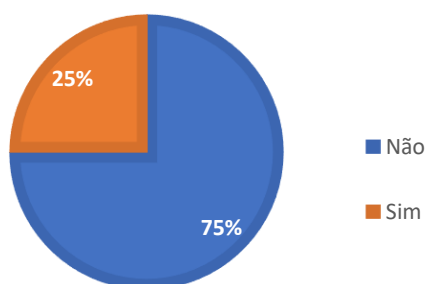


Figura 42. Experiência anterior com RV/RA/IA

3.2.1. Secção A: Perfil

Principal área de atividade da empresa

Conclusão (Figura 43): Os inquiridos representavam uma gama diversificada de setores industriais, sendo que as construções metálicas representavam a maior quota (40,8%), seguidas por outras indústrias (20,4%), energia/petróleo e gás (18,4%), equipamentos sob pressão (10,2%) e transportes/naval (10,2%), garantindo uma ampla representação setorial.

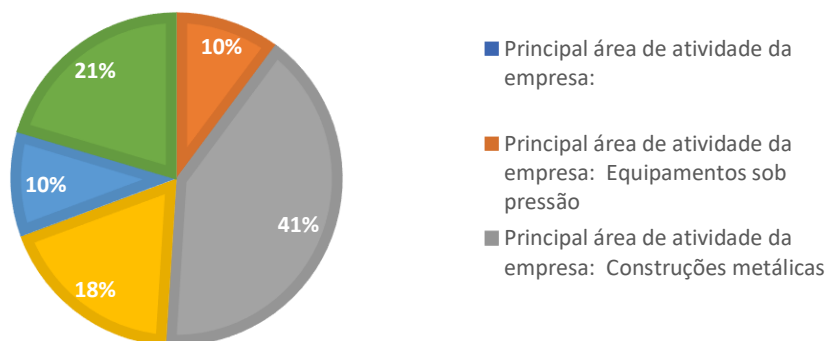


Figura 43. Principal área de atividade da empresa

País de residência:

Conclusão (Figura 44): O inquérito incluiu inquiridos de oito países, sendo que a Roménia (50,0%) e a Polónia (36,4%) representaram a grande maioria dos participantes, enquanto a Áustria, a Hungria, a Irlanda, a Itália, a Sérvia e a Suíça contribuíram, cada uma, com 2,3%, proporcionando uma perspetiva internacional com uma forte representação da Europa de Leste.

Os inquiridos eram principalmente da Roménia (50%) e da Polónia (38%), com os restantes participantes a constituírem uma amostra geograficamente diversificada.

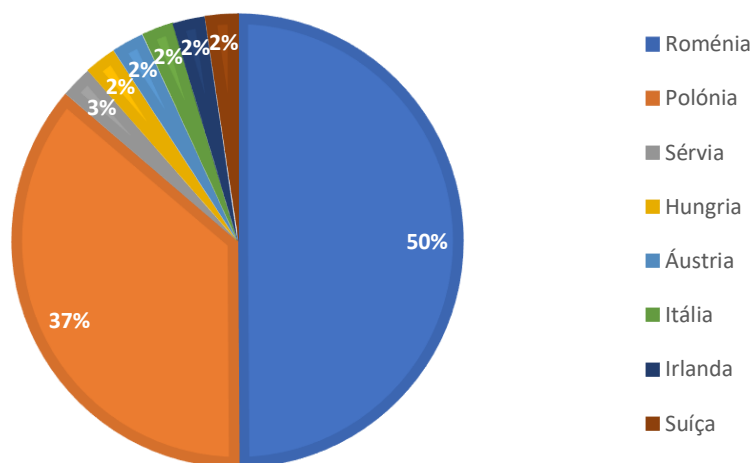


Figura 44. País de residência dos inquiridos

Dimensão da empresa (número de colaboradores)

Conclusão (Figura 45): Os inquiridos trabalhavam em empresas de vários tamanhos, sendo as grandes empresas (34,1%) as mais representadas, seguidas das médias (29,5%) e das pequenas empresas (25,0%), o que indica uma distribuição organizacional bem equilibrada.

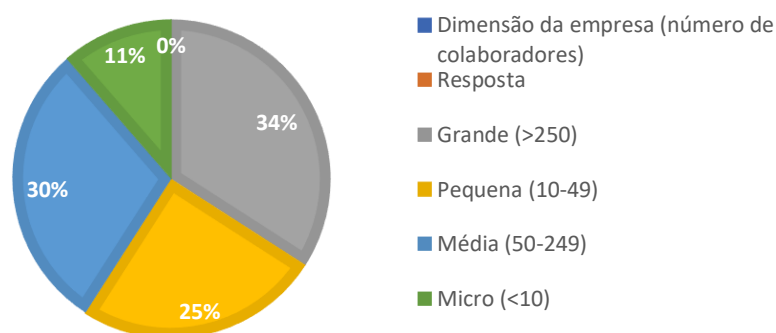


Figura 45. Dimensão da empresa

Procura por Engenheiros Internacionais de Soldadura (IWE) por parte das empresas

Conclusão (Figura 46): Os resultados mostram que 52,3% dos inquiridos já empregam Engenheiros de Soldadura Internacionais (IWE), enquanto 22,7% estão atualmente a formar candidatos a IWE, o que significa que 75,0% das empresas reconhecem a necessidade de

qualificações IWE, ao passo que 25,0% não planeiam, de momento, empregar ou integrar profissionais IWE.

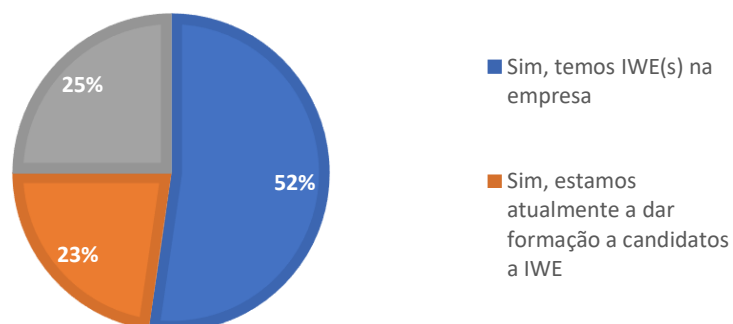


Figura 46. Procura por parte das empresas de Engenheiros Internacionais de Soldadura (IWE)

3.2.2. Secção B: Necessidades de competências

Importância da formação contínua para o pessoal de soldadura

Conclusão (Figura 47): Os resultados mostram que a formação contínua do pessoal de soldadura é considerada altamente importante, com 93,2% dos inquiridos a classificá-la como muito importante (61,4%) ou importante (31,8%), o que destaca o seu papel fundamental na prática industrial.

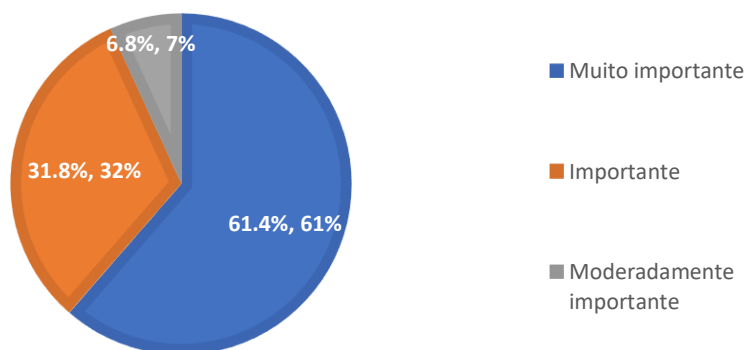


Figura 47. Importância da formação contínua para o pessoal de soldadura

Principais obstáculos à formação do pessoal

Conclusão (Figura 48): Os resultados indicam que as principais barreiras à formação do pessoal são os custos elevados (44,6%) e o tempo de inatividade da produção (33,8%), enquanto o acesso limitado a centros de formação (9,2%), a disponibilidade de equipamento (6,2%), os riscos da

formação prática (3,1%), a escassez de mão-de-obra (1,5%) e a falta de candidatos interessados (1,5%) são desafios referidos com menor frequência.

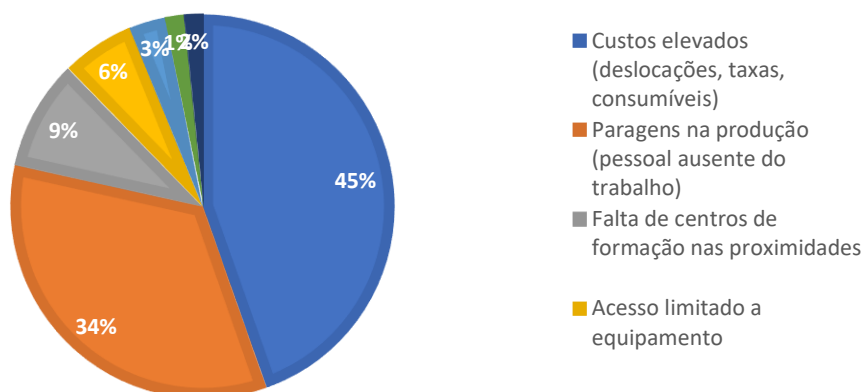


Figura 48. Principais obstáculos à formação do pessoal

Áreas de formação mais críticas para as empresas

Conclusão (Figura 49): Os resultados indicam que as competências práticas em processos de soldadura (30,6%) são consideradas a área de formação mais crítica, seguidas pela interpretação de normas e códigos (24,5%), controlo de qualidade e inspeção (NDT) (19,4%) e Saúde, Segurança e Ambiente (HSE) (17,3%). O PWHT (7,1 %) e a análise de falhas (1,0 %) foram identificados como prioridades de formação menos importantes.

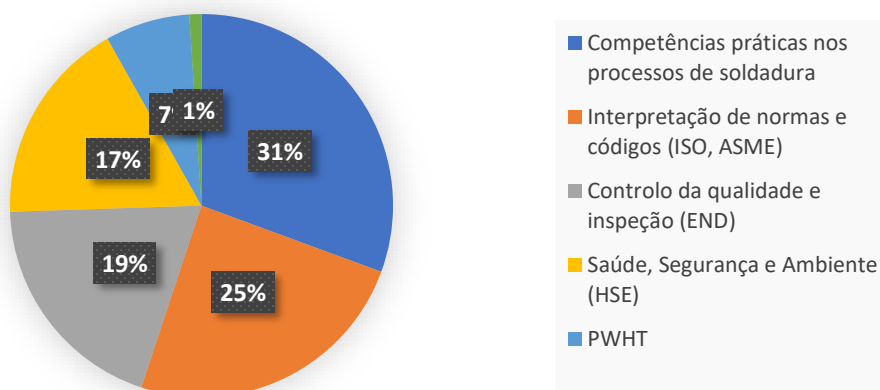


Figura 49. Áreas de formação mais críticas para as empresas

3.2.3. Secção C: Percepção da RV/RA

Familiaridade com a utilização da RV/RA na formação

Conclusão (Figura 50): Os resultados indicam que o conhecimento sobre RV/RA na formação é limitado, com apenas 13,6% dos inquiridos a referirem estar familiarizados, enquanto 50,0% estavam apenas parcialmente familiarizados e 36,4% não tinham qualquer familiaridade com estas tecnologias.

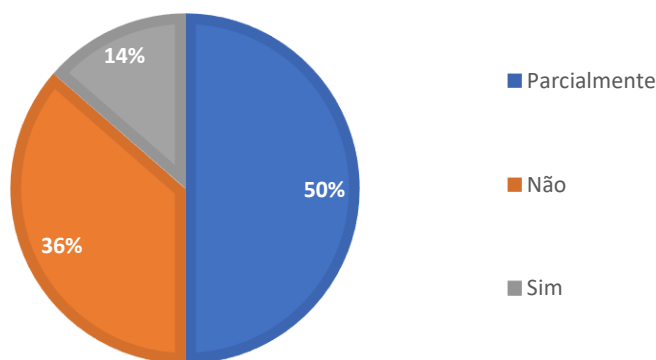


Figura 50. Familiaridade com a utilização da RV/RA na formação

Benefícios percebidos das tecnologias de RV/RA para a formação de engenheiros de soldadura

Conclusão (Figura 51): Os resultados indicam uma perceção fortemente positiva das tecnologias de RV/RA, com 79,5% dos inquiridos a classificar os seus potenciais benefícios para a formação de engenheiros de soldadura como elevados ou muito elevados, demonstrando uma ampla confiança no seu valor para a educação e o desenvolvimento de competências.

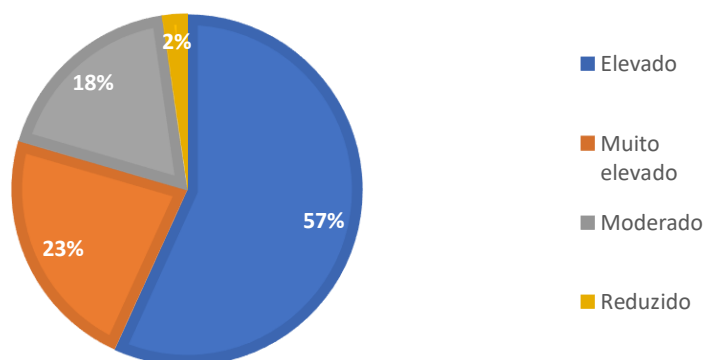


Figura 51. Benefícios percebidos das tecnologias de RV/RA para a formação de engenheiros de soldadura

Áreas em que as tecnologias de RV/RA são mais úteis na formação de engenheiros de soldadura

Conclusão (Figura 52): Os resultados indicam que os inquiridos vêem o maior potencial das tecnologias de RV/RA/IA nos processos de soldadura (26,6 %) e na análise de defeitos (23,8 %), seguidos pela segurança e prevenção de riscos (16,1 %), pelo projeto de estruturas soldadas (12,6 %) e pelo planeamento da produção (11,9 %). Foram atribuídas prioridades mais baixas ao PWHT (8,4 %) e à formação em competências manuais (0,7 %).

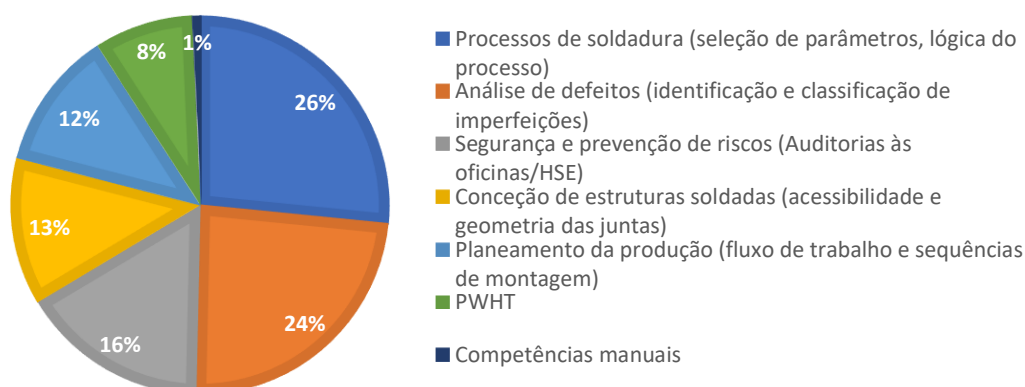


Figura 52. Áreas em que as tecnologias de RV/RA são mais úteis na formação de engenheiros de soldadura

3.2.4. Secção D: Interesse e envolvimento

Interesse num curso IWE modernizado que utilize tecnologias de RV/RA/IA

Conclusão (Figura 53): Os resultados indicam um elevado nível de aceitação, com 97,7% dos inquiridos a considerarem a implementação de tecnologias de RV/RA possível (50,0%) ou viável (47,7%), enquanto apenas 2,3% expressaram uma opinião negativa.

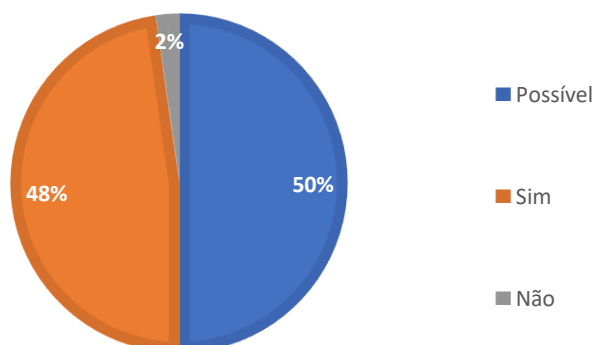


Figura 53. Interesse num curso IWE modernizado que utilize tecnologias de RV/RA/IA

Tipo de envolvimento preferido

Conclusão (Figura 54): Os resultados indicam que a maioria das empresas manifestou pelo menos algum interesse na iniciativa, com 43,2% a solicitar apenas informações e 31,8% dispostas a enviar formandos, enquanto uma proporção menor se mostrou interessada numa parceria no projeto (18,2%) ou em testes-piloto (6,8%).

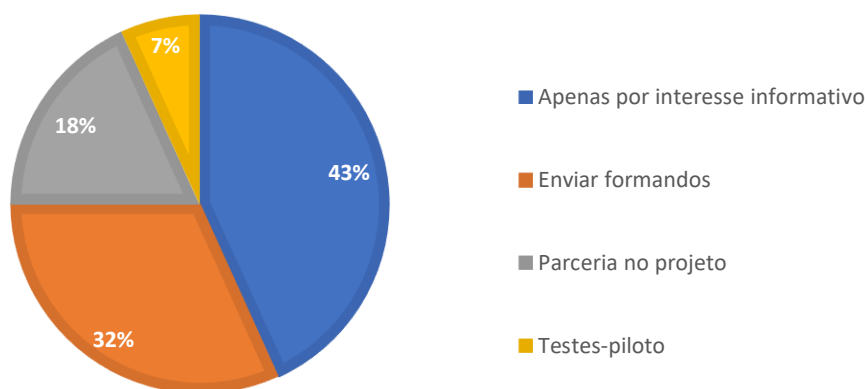


Figura 54. Tipo de envolvimento preferido

Utilidade percebida da simulação em RA/RV para a formação prática em soldadura (MMA/MIG-MAG/TIG (posição de soldadura e controlo do banho de fusão))

Conclusão (Figura 55): Os resultados demonstram uma forte perceção positiva da simulação de RA/RV, com 86,4% dos inquiridos a classificar a sua utilidade como elevada ou muito elevada, destacando o seu potencial significativo para a formação prática em soldadura.

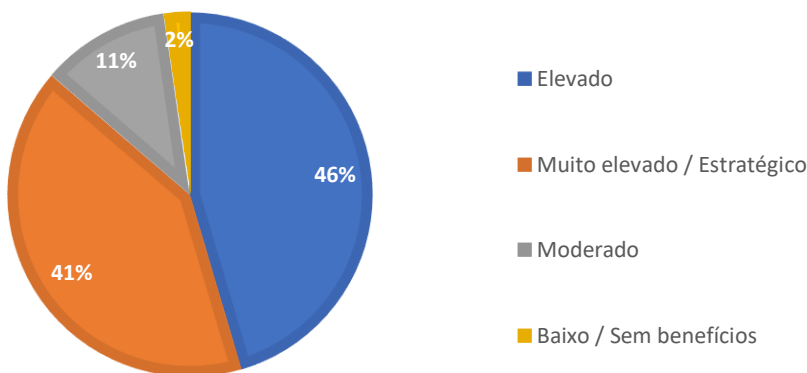


Figura 55. Utilidade percebida da simulação de RA/RV para a formação prática em soldadura

Impacto percebido da RA/RV na formação para a definição de parâmetros de soldadura (corrente/tensão/gás) em equipamento real

Conclusão (Figura 56): Os resultados revelam uma forte confiança no valor da RA/RV para a formação na definição de parâmetros de soldadura, com 93,2% dos inquiridos a classificar o seu impacto como elevado ou muito elevado, indicando um amplo apoio à integração destas tecnologias no ensino prático da soldadura.

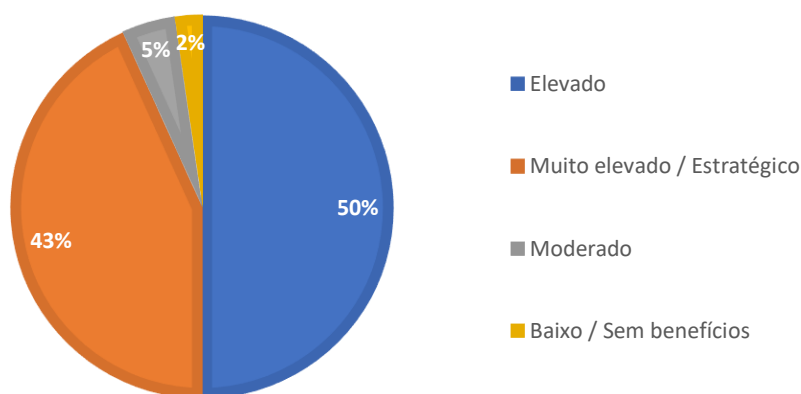


Figura 56. Impacto percebido da RA/RV na formação para a definição de parâmetros de soldadura

Utilidade percebida da IA/RA/RV para fornecer feedback imediato sobre desvios (velocidade, ângulo, distância)

Conclusão (Figura 57): Os resultados indicam um apoio esmagador ao feedback em tempo real baseado em IA/RA/RV, com 95,5% dos inquiridos a classificar a sua utilidade como elevada ou muito elevada, demonstrando uma forte confiança na sua capacidade de melhorar o desempenho da soldadura através da correção imediata de desvios na velocidade, ângulo e distância

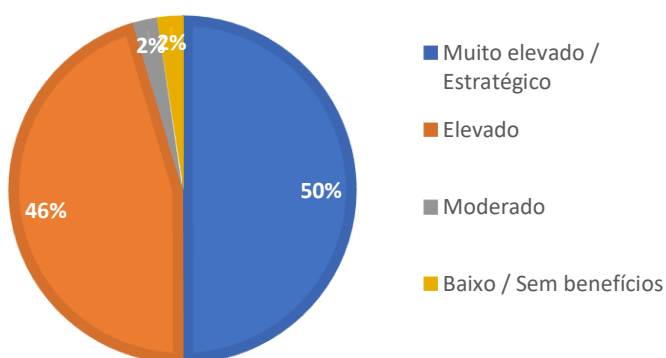


Figura 57. Utilidade percebida da IA/AR/VR para fornecer feedback em tempo real durante a formação em soldadura

Utilidade percebida da RA/RV para simular o fluxo de fabrico e identificar áreas de risco

Conclusão (Figura 58): Os resultados indicam que a simulação do fluxo de fabrico através de RA/RV é amplamente considerada benéfica, com 52,3% dos inquiridos a classificar a sua utilidade como «mente elevada» e 13,6% como «muito elevada», enquanto 29,5% a consideraram «moderadamente útil» e apenas 4,5% perceberam pouco ou nenhum benefício.

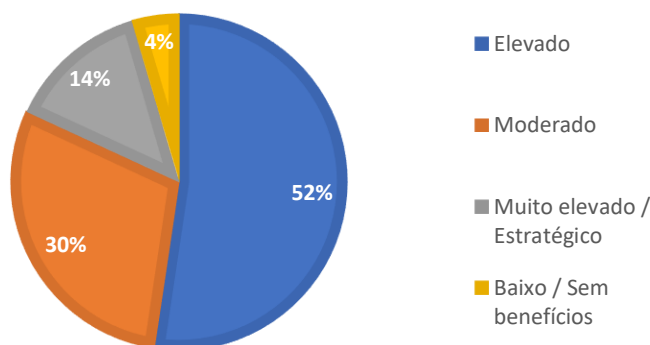


Figura 58. Utilidade percebida da RA/RV para simular o fluxo de fabrico e identificar áreas de risco

Valor percebido de um modelo de RA/RV para a compreensão da zona afetada pelo calor (HAZ) e das tensões residuais

Conclusão (Figura 59): Os resultados indicam que os modelos de RA/RV que ilustram a zona afetada pelo calor (HAZ) e as tensões residuais são considerados valiosos para melhorar a compreensão dos fenómenos de soldadura, com 52,3% dos inquiridos a classificar a sua utilidade como elevada e 15,9% como muito elevada, enquanto 25,0% os consideraram moderadamente úteis e apenas 6,8% perceberam pouco ou nenhum benefício.

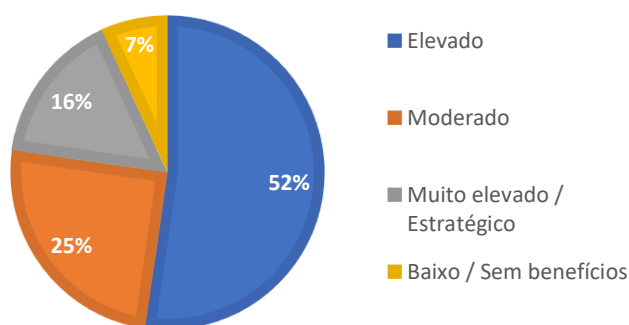


Figura 59. Valor percebido de um modelo de RA/RV para a compreensão da zona afetada pelo calor (HAZ) e das tensões residuais

Utilidade percebida da RV/RA para a compreensão da influência dos materiais de adição e dos gases de proteção na microestrutura

Conclusão (Figura 60): Os resultados indicam que 47,7% dos inquiridos classificaram a utilidade como elevada e 18,2% como muito elevada, demonstrando um forte apoio à aplicação. Além disso, 27,3% consideraram-na moderadamente útil, enquanto apenas 6,8% perceberam pouco ou nenhum benefício.

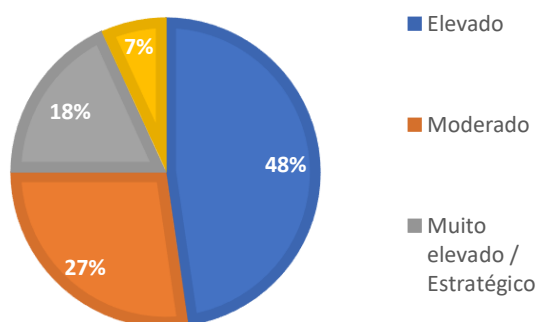


Figura 60. Utilidade percebida da RV/RA para compreender a influência dos materiais de enchimento e dos gases de proteção na microestrutura

Utilidade percebida da visualização 3D/RV para melhorar a conceção em termos de fabricabilidade e reduzir a distorção na soldadura

Conclusão (Figura 61): Os resultados indicam que 36,4% dos inquiridos classificaram a utilidade como elevada e 22,7% como muito elevada, o que significa que 59,1% expressaram uma perceção positiva. Por outro lado, 34,1% consideraram-na moderadamente útil e apenas 6,8% perceberam pouco ou nenhum benefício.

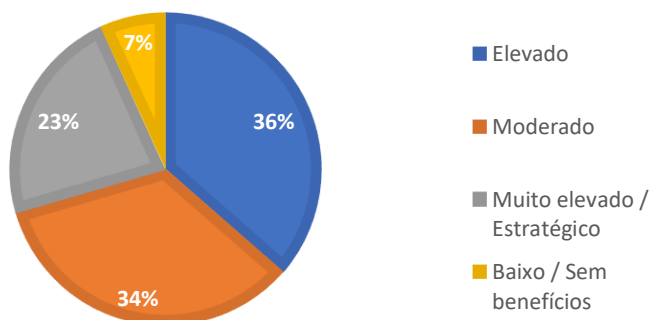


Figura 61. Utilidade percebida da visualização 3D/RV para melhorar o projeto em termos de fabricabilidade e reduzir a distorção de soldadura

Importância percebida da IA/RA/RV para a otimização do projeto com base em dados experimentais

Conclusão (Figura 62): Os resultados indicam que as tecnologias de IA/RA/RV são consideradas altamente valiosas para a otimização do projeto com base em dados experimentais, com 68,2% dos inquiridos a classificar a sua importância como elevada ou muito elevada, destacando o seu potencial para melhorar as decisões de projeto de soldadura.

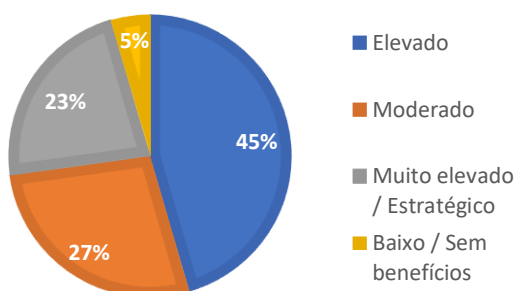


Figura 62. Importância percebida da IA/AR/RV para a otimização do projeto com base em dados experimentais

Importância percebida da simulação em RV/RA para melhorar o desenvolvimento de PQR e WPS

Conclusão (Figura 63): Os resultados indicam que a simulação em RV/RA é vista como uma ferramenta importante para melhorar o desenvolvimento de PQR e WPS, com 70,5% dos inquiridos a classificar a sua importância como elevada ou muito elevada, refletindo um forte apoio à sua integração no desenvolvimento de procedimentos de soldadura.

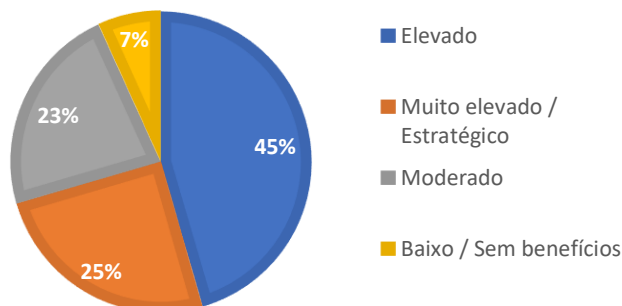


Figura 63. Importância percebida da simulação em RV/RA para melhorar o desenvolvimento de PQR e WPS

Utilidade percebida das ferramentas de RV/RA que fornecem informações sobre defeitos em tempo real durante a soldadura

Conclusão (Figura 64): Os resultados revelam um forte apoio às ferramentas de RV/RA que fornecem informações sobre defeitos em tempo real durante a soldadura, com 81,8% dos inquiridos a classificar a sua utilidade como elevada ou muito elevada, o que destaca o valor que lhes é atribuído para melhorar a qualidade da soldadura e reduzir os erros de produção.

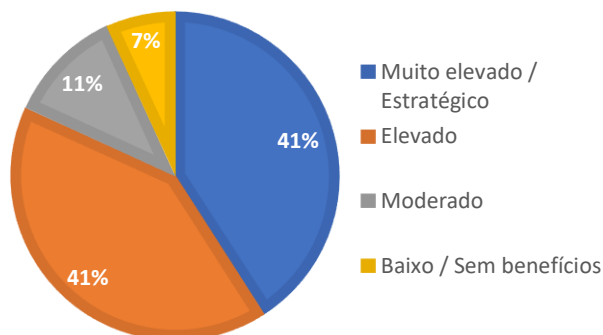


Figura 64. Utilidade percebida das ferramentas de RV/RA que fornecem informações em tempo real sobre defeitos durante a soldadura

Importância percebida das ferramentas digitais para melhorar a rastreabilidade de materiais e consumíveis em conformidade com as normas ISO 14731 e ISO 3834

Conclusão (Figura 65): Os resultados indicam que as ferramentas digitais são amplamente reconhecidas como valiosas para melhorar a rastreabilidade de materiais e consumíveis, em conformidade com as normas ISO 14731 e ISO 3834, com 63,6% dos inquiridos a classificar a sua importância como elevada ou muito elevada.

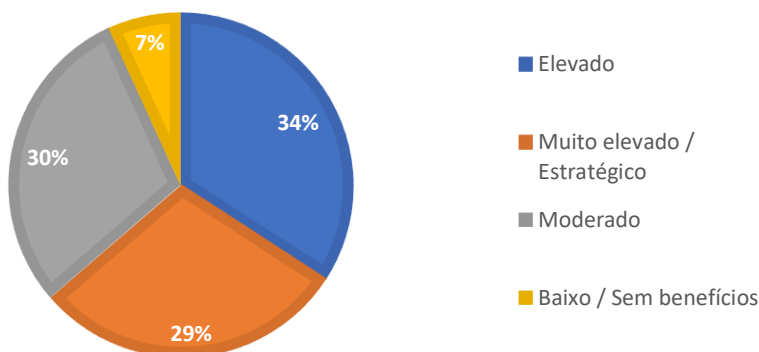


Figura 65. Importância percebida das ferramentas digitais para melhorar a rastreabilidade de materiais e consumíveis em conformidade com as normas ISO 14731 e ISO 3834

Indicadores de qualidade e segurança recomendados para a monitorização digital

Conclusão (Figura 66): Os resultados indicam que os inquiridos dão prioridade ao monitorização digital das taxas de avaria/reparação (29,9%), do tempo de ciclo (26,0%), da eficiência energética (23,6%) e da exposição a fumo/vapores (20,5%), demonstrando um enfoque equilibrado no desempenho em termos de qualidade, na eficiência da produção e na segurança no trabalho.

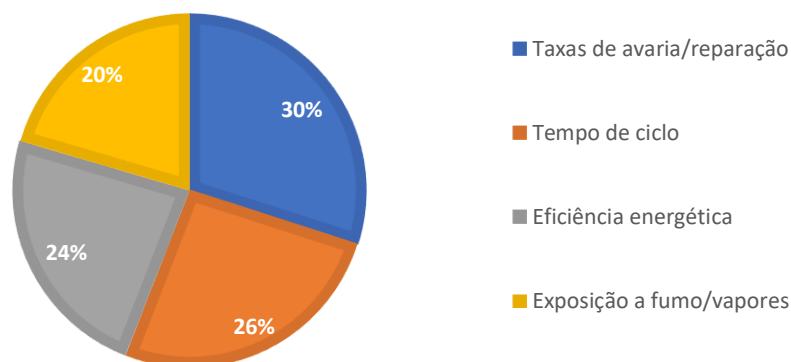


Figura 66. Indicadores de qualidade e segurança recomendados para monitorização digital

Conformidade percebida da integração do simulador com os resultados de aprendizagem e requisitos de avaliação do IWE/IWT/IWS (IAB-252r5)

Conclusão (Figura 67): Os resultados indicam que a maioria dos inquiridos (56,8%) considera que a integração do simulador cumpre apenas parcialmente os requisitos do IWE/IWT/IWS e ainda requer validação através de formação prática em oficina, enquanto 20,5% a consideram totalmente em conformidade com as normas internacionais e 22,7% permanecem incertos quanto ao seu alinhamento com o quadro IAB-252r5.

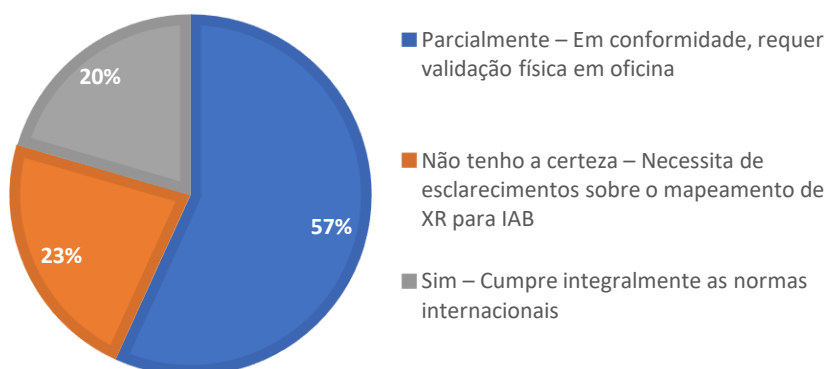


Figura 67. Percepção da conformidade da integração de simuladores com os resultados de aprendizagem e requisitos de avaliação do IWE/IWT/IWS « » (IAB-252r5)

Comentários finais

- «Penso que a aplicação da RA/RV/RM ainda se encontra na fase de introdução, mas é importante procurar áreas adequadas.»
- «Entrarei em contacto consigo para saber se existe alguma possibilidade de colaborar com o projeto do consórcio.»
- «Se um soldador nunca se queimou nem se sufocou com o fumo, não é um verdadeiro soldador.»
- «Os simuladores podem ser integrados no currículo de IWE/IWT/IWS, mas apenas como método de ensino complementar, não como substituto dos requisitos obrigatórios estabelecidos na norma IAB-252r5.»
- «Recomenda-se uma combinação de atividades tradicionais/práticas com o novo sistema de qualificação IWE/IWT.»
- «A integração da XR tornar-se-á essencial para a formação de engenheiros de soldadura, uma vez que permite a validação da acessibilidade, a otimização de WPS/WPQR e a monitorização digital da qualidade em tempo real. A curto prazo, a XR acelera a aprendizagem; a médio prazo, irá padronizar a avaliação de competências; e, a longo prazo, irá ligar a formação aos requisitos da ISO e aos fluxos de trabalho digitais na fábrica.»

3.3. Resumo dos resultados do inquérito

3.3.1 Equilíbrio entre a formação física à distância e o âmbito da XR no currículo de qualificação I/EWE

Este documento resume as conclusões dos dois questionários do projeto VIOLET (Inquérito 1 – Engenheiros de Soldadura, n = 121; Inquérito 2 – Empresas Industriais, n = 44) no que se refere ao objetivo da avaliação inicial: identificar a proporção da formação I/EWE que pode ser ministrada à distância em comparação com o modo presencial, e o âmbito de aplicação das ferramentas de XR (VR/AR/IA) no âmbito do currículo de qualificação.

3.3.2. Objetivo deste resumo

O objetivo da avaliação inicial consistia em determinar, a partir dos dados do inquérito, (a) a percentagem da formação de I/EWE que pode ser ministrada à distância em comparação com a formação presencial e (b) o âmbito do currículo de I/EWE que pode ser apoiado por ferramentas de XR.

As respostas foram analisadas por área curricular, tendo-se proposto utilizar o número de horas do currículo de IWE/EWE, conforme ilustrado na Tabela 1.

Os inquéritos contêm dados detalhados, pergunta a pergunta, sobre a utilidade percebida das ferramentas de XR em todas as principais áreas do currículo de I/EWE, além de declarações qualitativas explícitas sobre onde a formação prática/presencial deve continuar a ser obrigatória. Este documento utiliza esses dados como o indicador baseado em evidências mais próximo disponível para o objetivo e indica claramente quando um valor corresponde a um resultado do inquérito ou a uma estimativa derivada.

3.3.3. Visão geral dos inquiridos

Inquérito 1 (Engenheiros): 121 inquiridos preencheram a secção relativa à função/dados demográficos; 121 preencheram a secção relativa às tecnologias digitais. A maioria era composta por Engenheiros Internacionais de Soldadura (42,9 %) e Engenheiros (33,3 %). 62,0 % não tinham experiência prévia com RV/RA/IA em formação; 75,0 % da subamostra de idade/experiência referiram não ter experiência prévia com XR.

Inquérito 2 (Empresas Industriais): 44 inquiridos, principalmente do setor da construção metálica (40,8%), provenientes da Roménia (50,0%) e da Polónia (36,4%). Apenas 13,6% referiram estar familiarizados com RV/RA na formação; 50,0% estavam parcialmente familiarizados e 36,4% não estavam de todo familiarizados.

Ambas as amostras representam, portanto, um setor com baixa exposição atual à XR, mas, como se mostra abaixo, com elevada disposição declarada para a adotar.

4. Conclusões

Os participantes que podem ser considerados especialistas para a análise são:

- **121 inquiridos** da categoria de engenheiros de soldadura e especialistas em IWE;
- **44 representantes** do setor industrial;
- Representação de **11 países** no caso dos inquiridos da área da engenharia e de **8 países** no caso das empresas industriais;
- Formações profissionais diversificadas, incluindo profissionais da IWE, formadores, examinadores, coordenadores de cursos e gestores técnicos.

Nível de especialização do painel

O painel pode ser considerado altamente relevante porque:

- Mais de **37%** dos inquiridos têm mais de **10 anos de experiência profissional**;
- **75%** das empresas participantes empregam ou ministram formação a pessoal da IWE;
- Os participantes estão diretamente envolvidos na formação, coordenação e implementação de processos de soldadura.

Questão estratégica

Em que medida as tecnologias XR (VR/AR/IA) devem ser integradas na qualificação de I/EWE e que áreas do currículo devem ser priorizadas para a digitalização?

Prioridade I (>80%)

1. Feedback em tempo real sobre os parâmetros de soldadura

- **95,5 %** das empresas industriais consideram esta funcionalidade extremamente valiosa.
- **82,6%** dos engenheiros de soldadura classificaram-na como altamente valiosa ou essencial.

2. Simulação prática dos processos de soldadura MMA/MIG/MAG/TIG

- **86,4%** das empresas classificaram a sua utilidade como elevada ou muito elevada.
- **81,5%** dos engenheiros de soldadura avaliaram as simulações como «Boas» ou «Excelentes».

Prioridade II (70–80 %)

3. Detecção de defeitos em tempo real

- **81,8%** das empresas apoiam a utilização de tecnologias XR para a deteção de defeitos.
- **94,2%** dos engenheiros de soldadura consideram esta funcionalidade útil ou essencial.

4. Desenvolvimento de WPS/PQR

- **70,5%** dos inquiridos do setor industrial consideram a XR valiosa para esta atividade.
- **92,5%** dos engenheiros de soldadura acreditam que as simulações são úteis para o desenvolvimento de Especificações de Procedimentos de Soldadura (WPS) e Registos de Qualificação de Procedimentos (PQR).

Conclusão da análise

A análise revela um forte consenso entre especialistas e representantes da indústria relativamente à integração das tecnologias de XR na qualificação de I/EWE, particularmente **para atividades cognitivas, processuais e analíticas, tais como a monitorização de parâmetros de soldadura, o fornecimento de feedback em tempo real, simulações tecnológicas, o desenvolvimento de WPS/PQR, o controlo de qualidade e a rastreabilidade.**

Ao mesmo tempo, existe um consenso quase unânime de que a formação prática e o desenvolvimento de competências psicomotoras devem continuar a basear-se no ensino presencial. **As tecnologias XR são, portanto, vistas como um catalisador da aprendizagem e não como um substituto da formação prática em oficina.**

O modelo educativo recomendado pelo painel de peritos é uma abordagem **de aprendizagem mista**, na qual as tecnologias XR complementam o ensino tradicional e contribuem para a modernização do currículo de I/EWE.

5. Recomendações

5.1 Áreas curriculares com maior potencial para a implementação à distância/baseada em XR

A tabela abaixo classifica as áreas curriculares de acordo com a percentagem de inquiridos (inquérito às Empresas Industriais, Secção D) que classificaram a utilidade da XR como «elevada» ou «muito elevada». Este é o indicador quantitativo mais direto disponível nos dados sobre em que medida um determinado tópico poderia passar a ser ministrado à distância ou com base na XR.

Tabela 1

Área curricular	% que classificou como elevada / muito elevada	Implicações para a ministração
Interesse geral num curso IWE modernizado baseado em RV/RA/IA	97,7%	Forte apoio à integração do ensino à distância/XR
Feedback em tempo real sobre desvios (velocidade, ângulo, distância)	95,5%	Bem adequado à prática com XR / à distância
Definição de parâmetros em equipamento real (corrente/tensão/gás)	93,2 % (capítulo 1.12 – 2 horas)	Bem adequado à prática com XR / à distância
Informação em tempo real sobre defeitos durante a soldadura	81,8% (cap. 4.7 – 3 horas)	Bem adequado à prática com XR / à distância

Área curricular	% que classificou como elevada / muito elevada	Implicações para a ministração
Simulação prática de soldadura (MMA / MIG-MAG / TIG)	86,4% (cap. 1.7 – 3 horas, limite máximo 1,8 – 6 horas), cap. 1.9 – 6 horas))	Forte suporte a XR, recomendado em formato misto
Benefício global percebido da RV/RA para a formação IWE	79,5%	Amplo apoio a componentes remotos/XR
Desenvolvimento de PQR/WPS	70,5% (cap. 4.2 – 3 horas)	Adequado para formação mista
Compreensão de HAZ e tensão residual	68,2% (cap. 4.3 – 1 hora, 2.5 – 1 hora, 2.8 – 1 hora))	Adequado para formação mista
Otimização do projeto (IA/AR/RV)	68,2% (cap. 3.3 – 2 horas)	Adequado para formação mista
Simulação do fluxo de produção	65,9% (cap. 4.2 – 2 horas)	Adequado para formação mista
Materiais de enchimento / microestrutura do gás de proteção	65,9% (cap. 1.6 – 1 hora), 1,19 – 7 horas))	Adequado para formação mista
Rastreabilidade dos materiais (ISO 14731 / ISO 3834)	63,6 % (cap. 4.2 – 2 horas)	Adequado para formação mista
Visualização do «Design for Manufacturability»	59,1 % (cap. 3.2 – 2 horas)	Caso moderado, formação mista

- **42 horas de todos os módulos, em conformidade com a norma IAB 252r2-19.**

As 42 horas são obtidas através do seguinte processo: 2 horas (capítulo 1.12) + 3 horas (capítulo 4.7) + 3 horas (capítulo 1.7) + 6 horas (capítulo 1.8) + 6 horas (capítulo 1.9) + 3 horas (capítulo 4.2) + 3 horas (capítulo 4.3(1), capítulo 2.5(1), capítulo 2.8(1)) + 2 horas (capítulo 3.3) + 2 horas (capítulo 4.2) + 1 hora (capítulo 1.6) + 7 horas (capítulo 1.19) + 2 horas (capítulo 4.2) + 2 horas (capítulo 3.2) = 42 horas.

Capítulo 1.12 (2 horas): - *Configuração de parâmetros em equipamento real (corrente/tensão/gás)*

- Processos de soldadura: eletroescória, fricção; fricção com agitação, solda de topo por arco impulsionado magneticamente (MIAB); soldadura por pulso magnético, ultrassónica; explosiva; por difusão; aluminotérmica; de alta frequência; com pinos, soldadura por pressão a frio.
- Parâmetros de soldadura para cada processo
- Preparação da junta: projeto típico de junta para soldadura, montagem, limpeza
- Relação entre os parâmetros de soldadura e a configuração da junta

Capítulo 1.6 (1 hora): - *Materiais de adição / microestrutura dos gases de proteção*

- Gases de proteção (inertes, ativos) e o seu efeito nas características do arco
- Manuseamento e armazenamento de gases (visão geral)
- Influência dos parâmetros de soldadura na morfologia do cordão de soldadura

Capítulo 1.7 (3 horas): *Simulação prática de soldadura (MMA / MIG-MAG / TIG)*

- Efeito do tipo e da polaridade da corrente: CC (+), CC (-) e CA
- Consumíveis: gases de proteção, materiais de adição, elétrodos
- Parâmetros de soldadura: corrente, tensão, velocidade de avanço, caudal de gás
- Preparação da junta: desenho típico da junta para soldadura, alinhamento, limpeza
- Técnicas especiais: arco pulsado, soldadura por pontos, «keyhole», fio quente, soldadura orbital
- , tubo a tubo e tubo a chapa, folga estreita e outras
- Normas para materiais de adição e elétrodos (pelo menos para aços não ligados).
- Aplicações de soldadura, problemas típicos e como resolvê-los

Capítulo 1.8 (6 horas): *Simulação prática de soldadura (MMA / MIG-MAG / TIG)*

- Efeito do tipo de corrente e da polaridade
- Modos de transferência de metal (por imersão, globular, por pulverização, pulsado e rotativo), controlados
- Modos de transferência e a sua aplicação
- Parâmetros e configurações de soldadura: corrente, tensão, velocidade de avanço, caudal de gás, etc.

- Técnicas especiais: soldadura eletro-gás, processos de alta eficiência, soldadura por pontos, técnicas de fio único e múltiplo, fio plano, brasagem, controlo eletrónico de estabilidade (arco e alimentação de fio), etc.
- Relação entre os consumíveis e o tipo de modo de transferência de metal, e as suas aplicações
- Consumíveis: gases de proteção, materiais de adição (fios com núcleo fundente) e as suas combinações
- Aplicações de soldadura, problemas típicos e como resolvê-los

Capítulo 1.9 (6 horas): *Simulação prática de soldadura (MMA / MIG-MAG / TIG)*

- Parâmetros de soldadura: corrente, tensão, comprimento de soldadura, etc.
- Preparação da junta: alinhamento, limpeza, posição de soldadura
- Relação entre o diâmetro do eletrodo e a gama de corrente, o material da vareta, comprimento do eletrodo e posição de soldadura
- Técnicas especiais (soldadura por gravidade, etc.)
- Saúde e segurança específicas do processo MMA

Capítulo 1.19 (7 horas): *Materiais de adição / microestrutura do gás de proteção*

- Exercícios práticos que demonstrem o efeito de cada parâmetro principal de soldadura na forma do cordão de soldadura
- Os exercícios devem abranger: MMA, TIG, MIG/MAG, fios com núcleo fundente, SAW, Oxi-gás
- Exercícios práticos que demonstram o efeito de cada parâmetro principal de corte na superfície de corte

Capítulo 2.5 (1 hora): *Compreensão da zona afetada pelo calor (HAZ) e das tensões residuais*

- Banho de fusão, forma da soldadura
- Diluição
- Estrutura do metal de soldadura
- Efeito da soldadura em várias passagens

Capítulo 2.8 (1 hora): *Compreensão da zona afetada pelo calor (HAZ) e das tensões residuais*

- Tratamento térmico de juntas soldadas e peças
- Tratamento térmico pós-soldadura (alívio de tensões, normalização, endurecimento)
- Orientações técnicas para o tratamento térmico
- Procedimentos de tratamento térmico

Capítulo 3.2 (2 horas): *Visualização do «Design for Manufacturability»*

- Tipos de tensões (tensão normal, tensão de cisalhamento)
- Tipos de deformação (deformação axial, deformação por cisalhamento)

Capítulo 3.3 (2 horas): *Otimização do projeto (IA/AR/RV)*

- Classificação das formas das ranhuras (por tipo de material, espessura, processo de soldadura,
- acessibilidade)
- Requisitos de tolerância (ISO 13920)
- Símbolos de soldadura nos desenhos, símbolos para formas de ranhuras
- Representação simbólica de juntas soldadas, brasadas e soldadas por solda-branda, de acordo
- à norma ISO 2553

Capítulo 4.2 (7 horas): *Rastreabilidade de materiais (ISO 14731 / ISO 3834), desenvolvimento de PQR / WPS, simulação do fluxo de fabrico*

- Pessoal de coordenação e inspeção de soldadura; tarefas e responsabilidades de qualificação
 - (ISO 14731, ISO 9712, normas CEN e nacionais)
 - Aprovação/qualificação de soldadores e brasadores e qualificação de procedimentos de brasagem e soldadura
 - Qualificação — Introdução/Visão geral
 - Aprovação/qualificação de soldadores de brasagem e de soldadura (ISO 9606, CEN e normas nacionais
 -)
 - Especificação dos procedimentos de brasagem e soldadura – Objetivo, como criar e desenvolver (ISO 15607 e 15609, CEN e normas nacionais)
 - Qualificação de procedimentos de brasagem e soldadura (ISO 15610, 156111, 15612, 15613 e 15614), normas CEN e nacionais)
 - Qualificação de Operadores de Soldadura Forte e Soldadura (ISO 14732, normas CEN e nacionais)
 - Rastreabilidade (identificação de materiais, soldador/operador, procedimentos, certificados)
- **22 horas podem ser realizadas através da componente prática, ou seja, as demonstrações de soldadura.**
 - **É possível tirar partido dos sistemas de formação virtual em soldadura, mas num máximo de 50% das horas de formação prática!**

I.4.1 For the IWE; IWT, and IWS

This part does not aim at providing practical skills to the welding engineer/technologist/specialist but on gaining knowledge on the control of the different welding processes. The students shall become as familiar as possible with the problems and typical defects associated with incorrect use of the different welding methods. During their exercises the students are guided by skilled welding teachers.

Practical Training	hours:
Oxygas welding and cutting	6
MMA	8
TIG	8
MIG/MAG + Flux Cored Arc Welding	16

It is possible to use the advantages of Virtual Weld Training systems but maximum to 50% of the practical training hours!

	hours:
Demonstration or video presentations of processes	22
Gouging	
Brazing	
Plasma welding	
Plasma cutting	
Submerged-arc welding	
Resistance welding	
Friction welding	
Electron beam welding	
Laser welding	
Other processes	

⇒ Aproximadamente 15% do curso IWE poderiam ser ministrados utilizando ferramentas de RV/RA num simulador de soldadura

Os resultados correspondentes do Inquérito 1 (Engenheiros) confirmam o mesmo padrão: a simulação em RA/RV para a prática de MMA/MIG-MAG/TIG foi classificada como «Boa» ou «Excelente» por 81,5% dos inquiridos; a formação sobre definição de parâmetros foi classificada como melhorando a formação de forma significativa ou moderada por 90,0%; o feedback em tempo real sobre desvios foi classificado como «Muito Útil» ou «Essencial» por 82,6%; e a formação em processos de corte (plasma/oxigás/laser) foi classificada como «Relevante» ou «Altamente Relevante» por 90,9%.

5.2. Áreas curriculares que requerem ensino presencial/prático

Os dados do inquérito também identificam as áreas em que a formação à distância/XR é explicitamente considerada insuficiente:

- As competências manuais/físicas de soldadura foram classificadas como a área de menor prioridade para apoio por VR/AR pelos inquiridos do setor industrial (0,7% dos votos) — o sinal quantitativo mais claro no conjunto de dados de que este âmbito deve continuar a ser presencial.
- A limitação mais frequentemente citada da XR em geral foi a «falta de sensação física» (44,8%), seguida do elevado custo de investimento inicial (30,4%).
- 56,8% dos inquiridos do setor industrial afirmaram que a integração de simuladores cumpre apenas parcialmente os requisitos de resultados de aprendizagem das normas

IWE/IWT/IWS e continua a exigir validação através de formação prática em oficina (apenas 20,5% consideraram-na totalmente conforme).

- Várias respostas de texto livre enquadram explicitamente a XR como um «catalisador de competências» e um «método de ensino complementar, não um substituto dos requisitos obrigatórios estabelecidos na IAB-252r5», citando o feedback sensorial (calor, cheiro, ruído do arco, controlo tátil) como insubstituível para a aquisição de competências ao nível da certificação.

5.3. Síntese: Resposta mais próxima do objetivo



Âmbito cognitivo/analítico/procedimental (parâmetros de processo, interpretação de feedback em tempo real, raciocínio de conceção e controlo de qualidade, análise de defeitos, desenvolvimento de PQR/WPS, conformidade com normas): consistentemente classificado como 60–98% adequado para a ministração remota ou mista apoiada por XR em ambos os inquéritos.



Âmbito manual/psicomotor/crítico para a certificação (execução física da soldadura, manuseamento da tocha, calibração sensorial): classificado como exigindo formação presencial, tanto pelas respostas diretas ao inquérito (0,7% de prioridade para VR/AR) como pelo consenso qualitativo de que os requisitos obrigatórios da norma IAB-252r5 não podem ser cumpridos remotamente.

Se for necessária uma única estimativa de planeamento para o currículo modernizado de I/EWE, os dados apoiam a abordagem de considerar que os conteúdos compatíveis com XR/ensino à distância abrangem a maior parte do currículo teórico, analítico e processual, mantendo-se o núcleo prático/de certificação presencial e utilizando a XR nesse contexto como uma camada preparatória e complementar — em consonância com a própria descrição dos inquiridos da XR como um «catalisador», e não como um substituto.

6. Anexos: questionários do inquérito

Os resultados detalhados de ambos os questionários são apresentados nos documentos anexos «Anexo 1 AR_VR Qualificação Internacional de Engenheiro de Soldadura (Engenheiro)EN.xls» e «Anexo 2 AR_VR Qualificação Internacional de Engenheiro de Soldadura (Indústria)EN», que contêm as respostas completas ao inquérito.