



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-57652025v30id29124718>

Artigo

MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO RISCO DE FALHA NA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS VIA AHP E BBN COM VISTA À MELHORIA DA QUALIDADE DO ENSINO DA ENGENHARIA

Method for risk assessment of project-based learning failure via AHP and BBN aiming at improving the quality of engineering education

Método de evaluación del riesgo de insuceso en aprendizaje basado en proyectos vía AHP y BBN con vista a la mejor calidad del ensino de ingeniería

Jose Cristiano Pereira¹

Email: josecristiano.pereira@ucp.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2329-0560>

Thiago Piantino da Camara²

Email: thiago.42340061@ucp.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-5185-8803>

Ana Carolina Rios Coelho³

Email: ac_rios@id.uff.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2858-6667>

Ercilia Stefano⁴

Email: ercilia.stefano@ufff.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5955-1048>

Natália Fernandes da Motta⁵

Email: natalia.motta@estudante.ufff.br

Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-4844-6170>

Resumo: A aprendizagem baseada em projetos (PBL) tornou-se uma abordagem proeminente no ensino de engenharia, promovendo o conhecimento profissional dos alunos. No entanto, as universidades geralmente encontram desafios imprevistos com a PBL, o que leva a um retorno aos métodos de ensino convencionais. As complexidades da PBL introduzem inúmeras variáveis, aumentando o risco de fracasso. Este estudo propõe um método para identificar fatores de risco no emprego da PBL para o ensino de alunos de engenharia. Ele envolve a avaliação da probabilidade e do impacto do risco para obter pontuações globais de risco, utilizando a Rede de Crença Bayesiana (BBN) e elaborando respostas para os riscos de alta pontuação. Um estudo de caso validou o método, reunindo dados de várias fontes. Os fatores de risco foram identificados, categorizados e avaliados por meio de uma pesquisa e do Analytic Hierarchy Process (AHP). O BBN e a análise de sensibilidade identificaram riscos de alta probabilidade, permitindo a formulação de ações de resposta. O método proposto aprimora o processo de PBL, oferecendo um processo proativo de mitigação de riscos e percepções sobre o setor educacional que beneficiam professores, alunos e tomadores de decisão.

Palavras-chave: aprendizagem ativa; educação em engenharia; avaliação de riscos.

¹ Universidade Católica de Petrópolis | Petrópolis | RJ | Brasil

² Universidade Católica de Petrópolis | Petrópolis | RJ | Brasil

³ Universidade Federal Fluminense | Petrópolis | RJ | Brasil.

⁴ Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora | MG | Brasil.

⁵ Universidade Federal de Juiz de Fora | Juiz de Fora | MG | Brasil.

Abstract: Project-based learning (PBL) has become a prominent approach in engineering education, fostering students' professional knowledge. However, universities often encounter unforeseen challenges with PBL, leading to a return to conventional teaching methods. The complexities of PBL introduce numerous variables, increasing the risk of failure. This study proposes a method to identify risk factors in employing PBL for teaching engineering students. It involves assessing risk probability and impact to derive global risk scores, utilizing the Bayesian Belief Network (BBN), and crafting responses to high-scoring risks. A case study validated the method, gathering data from various sources. Risk factors were identified, categorized, and assessed using a survey and Analytic Hierarchy Process (AHP). BBN and sensitivity analysis identified high probability risks, allowing for the formulation of response actions. The proposed method enhances the PBL process, offering a proactive risk mitigation process and insights into the education sector that benefit professors, students, and decision-makers.

Keywords: active learning; engineering education; risk assessment.

Resumen: El aprendizaje basado en proyectos (ABP) se ha convertido en un enfoque destacado en la enseñanza de la ingeniería, fomentando los conocimientos profesionales de los estudiantes. Sin embargo, las universidades se enfrentan a menudo a retos imprevistos con el ABP, lo que lleva a volver a los métodos de enseñanza convencionales. Las complejidades del PBL introducen numerosas variables, lo que aumenta el riesgo de fracaso. Este estudio propone un método para identificar los factores de riesgo en el empleo del ABP para la enseñanza a estudiantes de ingeniería. Se trata de evaluar la probabilidad y el impacto del riesgo para obtener puntuaciones de riesgo globales, utilizando la Red de Creencia Bayesiana (BBN) y elaborando respuestas a los riesgos con puntuaciones altas. Un estudio de caso validó el método, recopilando datos de diversas fuentes. Los factores de riesgo se identificaron, categorizaron y evaluaron mediante una encuesta y el Proceso Analítico Jerárquico (AHP). El BBN y el análisis de sensibilidad identificaron los riesgos de alta probabilidad, lo que permitió formular acciones de respuesta. El método propuesto mejora el proceso de PBL, ofreciendo un proceso proactivo de mitigación de riesgos y conocimientos sobre el sector educativo que benefician a profesores, estudiantes y responsables de la toma de decisiones.

Palavras chave: aprendizagem ativo; enseñanza de la ingeniería; evaluación de riesgos.

1 INTRODUÇÃO

Os métodos de ensino centrados no aluno que utilizam a aprendizagem baseada em projetos (termo traduzido do idioma inglês: *Project Based Learning*, cuja sigla é PBL) têm sido amplamente adotados. Entretanto, as universidades muitas vezes lutam para enfrentar desafios imprevistos durante a fase de implementação, o que leva a um recuo para os métodos de ensino convencionais. Consequentemente, é fundamental identificar, descrever e abordar os fatores de risco que afetam diretamente os resultados da PBL. Notadamente, a literatura atual sobre o uso da PBL no ensino de Engenharia não abordou adequadamente os riscos de fracasso da PBL. O estudo integrou uma revisão da literatura e um estudo de caso. A metodologia combinou dados de arquivos, entrevistas, questionários e observações para identificar e listar os principais fatores de risco associados à implementação da PBL no ensino de Engenharia. A conscientização desses riscos e a maneira eficaz de reagir a eles podem aumentar o sucesso da implementação da PBL, promovendo a melhoria do aprendizado dos alunos e oferecendo uma abordagem de ensino sustentável nos ambientes universitários. O objetivo principal foi propor um método de avaliação de riscos utilizando o Processo de Análise Hierárquica (termo traduzido do idioma inglês *Analytical Hierarchy Process*, cuja a sigla é AHP) e as Redes de Crenças Bayesianas (termo traduzido do idioma Inglês *Bayesian Belief Network*, cuja a sigla é BBN). Essa abordagem visa identificar riscos e formular respostas, garantindo a execução bem-sucedida de colaborações de PBL com empresas locais. O estudo aborda os riscos associados ao Método de Aprendizagem Baseada em Projetos no ensino de estudantes de Engenharia, contribuindo para uma lacuna na literatura.

Os diversos fatores de risco ressaltam a complexidade da implementação da PBL no ensino de Engenharia. A não identificação e o tratamento adequado desses riscos podem levar ao fracasso dos projetos de PBL, com alunos, professores e organizações parceiras ficando aquém dos benefícios esperados. Esta pesquisa é relevante, pois pode auxiliar no desenvolvimento profissional de professores e alunos, ao mesmo tempo em que eleva a qualidade da PBL e contribui para a sustentabilidade das universidades. Notadamente, a pesquisa se concentra na aprendizagem baseada em projetos envolvendo empresas, um aspecto negligenciado em estudos anteriores. Nenhum dos estudos revisados aqui se aprofundou especificamente na avaliação de riscos e seus impactos na PBL. A literatura pregressa revelou que a maioria dos estudos sobre PBL abordava desafios, mas não tinha um método para priorizar sistematicamente os riscos usando AHP e Redes de Crenças Bayesianas. O trabalho responde as seguintes questões de pesquisa: a) Como os fatores de risco mais significativos no uso da PBL podem ser identificados no ensino de alunos de Engenharia? b): Como as probabilidades e os impactos desses riscos podem ser combinados para gerar um índice de risco e como a análise de sensibilidade usando o BBN pode ser conduzida? Pergunta de pesquisa c): Como definir respostas para riscos de alta pontuação?

O presente trabalho foi organizado em cinco seções, sendo que: a primeira introduziu os conceitos do estudo, a segunda discutiu os estudos prévios sobre avaliação de risco relativos a PBL, BBN e AHP, Seção 3 detalhou a metodologia, a Seção 4 apresentou os resultados, a Seção 5 discutiu estes e a Seção 6 apresentou a conclusão do estudo.

2 APRENDIZAGEM BASEADA EM PROJETOS

Estudos sobre a PBL destacam sua eficácia na promoção da aprendizagem ativa, do pensamento crítico, da solução de problemas, da colaboração e de outras habilidades essenciais para o sucesso acadêmico, profissional e pessoal. A importância da PBL é reconhecida em vários ambientes educacionais para preparar os discentes para os desafios do século XXI. A presente seção apresenta estudos anteriores sobre o design do método PBL, os desafios e a avaliação de risco de fracasso da PBL, o uso da BBN e a respectiva aplicação desses métodos na avaliação de risco de fracasso da PBL.

2.1 Design do Método PBL

Estudos prévios relevantes sobre PBL são apresentados a seguir. Palmer e Hall (2011) relataram uma oferta de PBL no curso de Engenharia da Universidade de Griffith na Austrália, observando que os discentes, em geral, apreciaram a experiência, embora alguns aspectos carecessem de melhorias, as quais foram devidamente documentadas. Du *et al.* (2013) desenvolveram uma estrutura para mudança na cultura educacional voltada à sustentabilidade, utilizando a metodologia PBL, inspirando o desenho curricular em educação para a sustentabilidade. García-Martín e Pérez (2017) apresentaram um método para orientar docentes no uso dos princípios da PBL aliados a modelos de design instrucional, com foco em questões fundamentais da aprendizagem ativa. Marques (2018) propôs um método de monitoramento formativo com o objetivo de aprimorar o desempenho individual e em equipe dos estudantes, com resultados que indicaram a efetividade da PBL na ampliação da experiência de aprendizagem. Vathayan (2018) descreveu uma experiência de evolução de um modelo de ensino híbrido ao longo de três semestres, utilizando o ciclo de pesquisa-ação (planejar-agir-observar-refletir). Setiawan (2019) conduziu um estudo sobre a implementação da PBL, com foco específico nas oportunidades e desafios, em que os estudantes escolheram seus próprios temas e descreveram suas abordagens de resolução de problemas. Moliner *et al.* (2019) descreveram a experiência do uso da PBL em disciplinas de Ciência dos Materiais ministradas por universidades na Espanha, analisando as percepções de estudantes e docentes no processo. Schneider (2020) utilizou a PBL como estratégia para aumentar o engajamento do alunado. Daun (2016) discutiu os resultados da aplicação de longo prazo de tal modelo de curso em programas de pós-graduação, indicando que técnicas de PBL favorecem diferentes objetivos pedagógicos nos níveis de graduação e pós-graduação.

A pesquisa de Bhaskar *et al.* (2023) identificou e priorizou quatro principais fatores inibidores da implementação da PBL. Fatores em nível institucional obtiveram o maior peso, seguidos por fatores tecnológicos, operacionais e pessoais. A pesquisa de Merola *et al.* (2022) investigou como a satisfação de estudantes internacionais é afetada por determinados aspectos da experiência de aprendizagem e vivência, incluindo reputação universitária, proporção de estudantes internacionais, gênero e etapa do curso. Nguyen *et al.* (2022) ofereceram uma estrutura conceitual e traçaram a evolução da pesquisa em gestão de recursos humanos no ensino superior entre 1966 e 2019. Utilizando a análise de co-palavras, o estudo analisou 352 publicações sobre práticas de gestão de recursos humanos na educação superior, disponíveis na base de dados Scopus. Sousa *et al.* (2022) analisaram a cultura organizacional de duas instituições de ensino superior – uma portuguesa e outra espanhola – e como essa cultura foi alterada, ou espera-se que tenha sido, a partir de mudanças nos marcos legais e nas missões institucionais impostas de forma coercitiva pelos respectivos governos na transposição de diretivas europeias.

Os estudos revisados demonstram que a PBL é um método de ensino que envolve os estudantes na investigação e resolução de problemas complexos do mundo real. Diversos fatores podem influenciar o design da PBL, sendo necessário que os educadores os considerem cuidadosamente para criar experiências de aprendizagem eficazes e envolventes. A partir dessa consideração criteriosa, é possível desenvolver experiências com PBL que sejam significativas, atrativas e alinhadas com os objetivos educacionais. A flexibilidade do método permite sua adaptação às necessidades específicas dos estudantes e do ambiente de aprendizagem. Contudo, a aplicação da desta abordagem também apresenta inúmeros desafios e riscos de insucesso. A seção 2.2 aborda alguns desses desafios e riscos.

2.2 Desafios e Avaliação de Riscos de Fracasso da PBL

Esta seção apresenta uma reunião de pesquisas significativas que abordaram os desafios associados à PBL. Segundo levantamento realizado por Henderson *et al.* (2012), embora as universidades reconheçam os métodos de ensino centrados no discente, enfrentam dificuldades na gestão de imprevistos durante a implementação, frequentemente retornando a práticas tradicionais de ensino. Kjellberg, Adawi e Brolin (2015) argumentaram que a implementação da PBL requer uma perspectiva holística do projeto, sendo que responsabilidades do tipo não técnicas costumam ser ambigualmente definidas, contribuindo para uma infraestrutura incompleta, possivelmente resultante de uma visão abrangente do projeto e de métodos de gestão inadequados. Esses autores destacaram que equipes inexperientes comprometem a transferência de conhecimento e a comunicação entre equipes ampliadas, afetando a dinâmica do grupo, o comprometimento e as responsabilidades. Aponta-se também a insuficiência de equipes docentes, o que leva um único professor a assumir simultaneamente os papéis de avaliador e gestor do projeto, o que intensifica a carga

de trabalho e pode gerar estresse emocional, diante da ausência de ferramentas, apoio e constante preocupação com questões emergentes.

Beddoes *et al.* (2010) explicaram que os desafios na implementação e execução da PBL abrangem dimensões teóricas e práticas. Persistem debates teóricos sobre a melhor forma de integrar a PBL e o desempenho esperado para o benefício dos estudantes. Alguns educadores da Engenharia defendem a integração completa da PBL ao longo de todo o currículo, enquanto outros sugerem uma introdução gradual, em pequena escala, para familiarizar os docentes com a metodologia. As mudanças nos papéis de professores e estudantes são reconhecidas como barreiras significativas para a implementação da PBL por autores como Prince e Felder (2006) e Strobel (2009). A PBL exige uma mudança na percepção sobre aprendizagem e conhecimento, podendo gerar dificuldades tanto para docentes quanto para discentes, como destacaram Savin-Baden (2007). Estudantes podem resistir à PBL devido ao nível incomum de responsabilidade pessoal exigido e aos possíveis conflitos em equipe. Já os professores podem enfrentar obstáculos na adaptação à nova metodologia.

Ainda, os desafios institucionais incluem alocação de recursos, sustentabilidade dos programas, escalabilidade, infraestrutura física e gestão, vide apontamentos de Bielefeldt *et al.* (2009). Esses diversos obstáculos evidenciam a complexidade envolvida na implementação eficaz da PBL em ambientes educacionais. Pereira, Tzaschel e Almeida (2021) e Pereira, Stefano e Almeida (2022) realizaram uma avaliação de risco de fracasso da PBL por meio de BBN e incorporando o AHP.

Portanto, estudos anteriores demonstraram que a PBL é uma metodologia de ensino que envolve o estudante em projetos autênticos e com significado pessoal. Embora a PBL possa ser altamente eficaz, sua implementação está associada a diversos desafios e riscos. Planejamento cuidadoso, formação docente continuada e avaliações constantes são essenciais para mitigar tais obstáculos. O fornecimento de recursos e suporte adequados também contribui para o sucesso da PBL. Diversos métodos podem ser utilizados para avaliar os riscos de fracasso deste tipo de abordagem. A seção 2.3 apresenta estudos anteriores sobre a importância do uso de BBN na avaliação de riscos.

2.3 Uso de BBN na Avaliação de Riscos

As BBNs constituem uma estrutura causal empregada por especialistas em análise de risco probabilístico para reunir informações sobre eventos críticos de risco e intervenções necessárias para mitigá-los (Mosleh, 1992; Rechenthin, 2004). O uso de BBNs em segurança, manutenção e confiabilidade tem apresentado crescimento expressivo (Mahadevan, 2001). Métodos bayesianos aplicados de forma abrangente em diferentes contextos oferecem uma abordagem estruturada para suprir as limitações da análise de confiabilidade humana (Mosleh; Apostolakis, 1986; Droguett *et al.*, 2004; Groth; Swiler, 2013; Podofillini; Dang, 2013).

As BBNs têm sido amplamente utilizadas na estimativa de riscos associados à corrosão (Yang *et al.*, 2016) e na aquisição de conhecimento sobre dependências causais no contexto da Análise de Fatores Humanos e Contextuais (termo traduzido do

idioma inglês: *Contextual and Human Factors Analysis*, cuja a sigla é CREAM), por meio de BBN (Ashrafi *et al.*, 2016). Além disso, variáveis bayesianas foram fundamentais na análise de delineamentos fatoriais fracionários regulares do tipo IV (Chipman *et al.*, 2016). Em estudo conduzido por Mkrtchyan *et al.* (2022), uma abordagem *top-down* foi utilizada para derivar indicadores-chave de desempenho (traduzido do idioma inglês: *key performance indicators*, cuja a sigla é KPIs) na avaliação do perfil de risco em refinarias, com foco específico em eventos de incêndio e explosão por nuvem de vapor. As BBNs foram essenciais para o desenvolvimento de um modelo probabilístico destinado a quantificar o risco desses eventos com base no conhecimento de especialistas. Sharma *et al.* (2022) contribuíram para a modelagem de habilitadores de risco ao identificar fatores críticos de sucesso para a gestão de riscos e estabelecer relações de causa e efeito entre eles, por meio de uma BBN. Zio *et al.* (2022) propuseram uma estrutura analítica inovadora para quantificar o risco de ocorrência de triagens, identificar os cenários mais arriscados e determinar estratégias de mitigação ideais com base em BBNs.

Contudo, há uma escassez de literatura específica sobre a aplicação de BBNs na avaliação de risco da PBL. Conforme apontam Mkrtchyan *et al.* (2022), Sharma *et al.* (2022) e Zio *et al.* (2022), a metodologia BBN visa facilitar a previsão de eventos de risco ao representar argumentos dentro de uma estrutura que incorpora incertezas, em que os nós representam variáveis e os arcos denotam dependências diretas.

As BBNs têm sido amplamente utilizadas em diversos campos para avaliação de riscos, dado seu potencial em modelar e representar conhecimento incerto. Estudos anteriores mostram que o campo da avaliação de riscos é dinâmico, com novas aplicações emergindo continuamente. Nota-se que pesquisadores e profissionais seguem explorando formas inovadoras de aplicar BBNs na gestão de riscos em diferentes domínios. As BBNs também podem ser combinadas a outros métodos, como o já mencionado AHP. A seção 2.4 apresenta estudos anteriores sobre o uso do AHP.

2.4 Uso do AHP na Avaliação de Riscos

Saaty (1980) foi o pioneiro no uso do AHP como ferramenta de apoio à decisão, visando atribuir pesos relativos a critérios com base em uma estrutura hierárquica. Esse autor propôs o uso de comparações paritárias para avaliar alternativas. Esse método tem sido amplamente utilizado na resolução de problemas decisórios complexos. O AHP decompõe a questão em partes menores, com o objetivo de hierarquizá-las, da maior para a menor relevância em termos de risco. Assim, a importância relativa das alternativas é ponderada de forma sistemática.

Este método tem sido aplicado, por exemplo, na priorização de riscos críticos associados ao processo de empilhamento. O AHP é considerado uma ferramenta eficaz para atribuição de pesos a níveis de risco (MIs, Otčenášková, 2013). Kim *et al.* (2022) utilizaram o AHP e a técnica Delphi para quantificar fatores de influência e desenvolver um sistema de classificação para avaliação de risco de colapso de túneis. Os fatores de influência foram selecionados com base na importância de seus pesos e nas notas

atribuídas. Zhang *et al.* (2022) construíram um modelo de avaliação de risco ecológico para analisar os riscos dos microplásticos no estuário do rio Yangtzé e áreas marinhas adjacentes, utilizando AHP. Providakis *et al.* (2022) aplicaram o AHP para avaliar riscos associados ao planejamento urbano sustentável e resiliente e ao uso de espaços subterrâneos.

Estudos anteriores evidenciam que o uso do AHP na avaliação de riscos varia entre setores e indústrias. Pesquisadores e profissionais seguem explorando e desenvolvendo novas metodologias e aplicações para o AHP na abordagem de desafios emergentes relacionados à gestão de riscos. Notadamente, o AHP tem sido amplamente utilizado em diversos campos como ferramenta de apoio à decisão e avaliação de riscos. Pereira; Quelhas; Lima (2014), Pereira; Lima (2015), Pereira; Lima; Parracho Santana (2015), Pereira *et al.* (2017), Pereira; Fayer (2020), Pereira; Tzaschel; Almeida (2021), realizaram estudos sobre o uso do AHP na avaliação de riscos.

3 METODOLOGIA

Foi realizada uma análise aprofundada da estratégia, dos desafios e dos resultados de uma universidade relacionados à PBL. O objetivo era fornecer uma compreensão profícua e diferenciada da PBL que pudesse contribuir para o desenvolvimento da teoria ou informar aplicações práticas. O estudo adotou a abordagem de construção de teoria a partir da Pesquisa de Estudo de Caso proposta por Eisenhardt (1898), Baxter; Jack (2010), Yin (2014); Hancock *et al.* (2021). Ainda, combinou dados de arquivos, entrevistas e observações na condução de projetos de PBL. O processo de PBL empregado nesta dada universidade foi mapeado, os riscos associados foram identificados e categorizados usando um diagrama de afinidade, e as probabilidades de risco foram obtidas por meio de uma pesquisa.

Ademais, cumpre explicar que os autores estimaram os impactos dos riscos usando o AHP e derivaram pontuações globais de risco. O BBN foi empregado para combinar as probabilidades de risco com uma análise de sensibilidade subsequente para identificar os riscos de alta probabilidade. Por fim, o estudo descreve o processo de definição de respostas para esses riscos identificados com alta pontuação. Os resultados desta pesquisa são apresentados por meio de um mapa visual do processo de PBL destacando os riscos associados, uma lista categorizada de fatores de risco, o instrumento de pesquisa para obter probabilidades de risco, a matriz AHP para fatores de risco, categorias de risco, uma análise de sensibilidade conduzida por meio do BBN e uma lista de ações de resposta para os riscos de alta pontuação.

3.1 População e amostra

A amostra deste estudo foi o processo de PBL utilizado no Curso de Engenharia da população de Cursos de uma universidade específica. Logo, o número de partes interessadas que participaram do estudo está listado na Tabela 1.

Tabela 1 - Partes interessadas que participaram do estudo

Area	Funções	# Participantes	Tempo de experiência (Anos)
Universidade	Professores	3	10, 10, 6
	Estudantes de Engenharia	3	4
Empresa	Líder PBL (ponto focal)	1	20
	Membro da Empresa (PBL)	1	25

Fonte: elaborado pelos autores

Essas partes interessadas, ou seja, *stakeholders*, foram selecionadas com base em seus conhecimentos. Ressalta-se que o tamanho da amostra é adequado e significativo, pois todas as partes interessadas estão cobertas.

3.2 Instrumentos e ferramentas

Foi criado um mapa do processo, justamente para compreender as variáveis envolvidas no processo de PBL, e, identificar os possíveis riscos. Um diagrama de afinidade foi empregado para categorizar esses fatores de risco. O AHP foi utilizado para avaliar os impactos desses riscos. O *Google Forms*, isto é, Formulários do Google, foi empregado para obter probabilidades. A BBN foi aplicada para consolidar essas probabilidades e realizar uma análise de sensibilidade, identificando, por fim, os riscos com maior probabilidade.

3.3 Coleta de dados:

Os dados foram coletados de arquivos, entrevistas, pesquisas e observações. Os fatores de risco foram compilados com base na literatura existente e no mapa do processo. Os participantes, incluindo alunos, professores e líderes organizacionais, foram pesquisados para determinar as probabilidades associadas a esses fatores de risco.

3.4 Análise de dados e ações:

A equipe de pesquisa elaborou um Diagrama de Afinidade para categorizar os fatores de risco e estabelecer a relação de causa e efeito com o fracasso da abordagem PBL. Eles empregaram o AHP para avaliar o impacto das categorias de risco identificadas. O *Google Forms* (Formulário do Google) reuniu as probabilidades na BBN facilitando a análise de sensibilidade. Por fim, as respostas aos riscos foram formuladas para lidar com os riscos que obtiveram alta pontuação na avaliação. As probabilidades de cada fator de risco foram obtidas de alunos e professores. As seções do formulário usado neste processo são evidenciadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Fatores de risco que afetam o fracasso da PBL

Pesquisa sobre o impacto dos fatores de risco no sucesso da PBL	
Explicação introdutória	
Estamos realizando um estudo sobre o impacto dos fatores de risco no sucesso das PBLs e gostaríamos de receber uma contribuição para nos informar sobre sua experiência nesse assunto. Agradeceríamos se pudesse responder a esta pesquisa anônima de 5 minutos. As respostas serão usadas apenas para nos ajudar a validar o modelo que estamos desenvolvendo para estimar o impacto dos fatores de risco sobre a eficácia das PBLs. Esta primeira seção solicitará que você forneça seu histórico de experiência em PBL. Nas seções 2, 3 e 4, você será solicitado a estimar a probabilidade de os fatores de risco afetarem a eficácia dos resultados da PBL em cada pergunta. Obrigado por sua contribuição.	
Seção 1 – Questões Gerais	
Número	Questão
1	Qual a sua idade?
2	Em qual departamento você trabalha?
3	Quantos anos de experiência na Universidade ou na Empresa?
4	Quantos anos de experiência com PBL?
5	Qual a sua função na Universidade/Empresa?
6	Em qual Universidade/Empresa você trabalha?
Seção 2 - Estime em cada declaração a probabilidade (de 1 a 10) de os fatores de risco relacionados aos Fatores de Risco de Aprendizagem Cognitiva afetarem a eficácia dos resultados da PBL	
Número	Questão
1	C1 - Falta de procedimento para o processo de PBL
2	C2 - Alunos e professores não recebem o treinamento adequado sobre o procedimento
3	C3 - Falta de trabalho padrão para a execução de PBLs
4	C4 - Explicação insuficiente das expectativas para os alunos

- 5 C5 - Falta de definição básica sobre o princípio por trás dos projetos
- 6 C6 - Falta de definição clara dos requisitos
- 7 C7 - Complexidade do projeto incompatível com o tempo e os recursos
- 8 C8 - Projeto não relacionado à disciplina
- 9 C9 - Carga de trabalho muito pesada para o aluno
- 10 C10 - Baixa capacidade dos alunos (aprendizagem lenta)

Seção 3 - Estime em cada declaração a probabilidade ou improbabilidade (de 1 a 10) de os fatores de risco relacionados aos Fatores de Risco de Aprendizagem Social afetarem a eficácia dos resultados da PBL

Número	Questão
1	S1 - O número de alunos na equipe é inadequado (muito grande ou muito pequeno)
2	S2 - Os membros da equipe não são igualmente fortes
3	S3 - Designar alunos para as equipes em vez de deixá-los escolher a equipe por si mesmos;
4	S4 - O professor não oferecer feedback.
5	S5 - Não há diretrizes para a operação da equipe
6	S6 - Os alunos não são incentivados pelos professores
7	S7 - Alguns dos alunos não são ativos
8	S8 - Não há foco no projeto
9	S9 - O relacionamento entre professor e aluno não é bom
10	S10 - Falta de paciência e entusiasmo

Seção 4 - Estime em cada declaração a probabilidade (1 a 10) de os fatores de risco relacionados aos Fatores de Risco de Aprendizagem Teórica e Técnica impactarem os resultados da PBL

Número	Questão
1	T1 - O professor não oferece suporte à construção da base de conhecimento
2	T2 - O professor não oferece suporte à construção da base de argumentos.
3	T3 - Falta de conhecimento do conteúdo técnico e de experiência do professor
4	T4 - O professor não tem habilidades relacionados a indústria.
5	T5 - Falta de definição para a organização do conteúdo do projeto
6	T6 - Não há definição do conteúdo do relatório
7	T7 - Métodos de solução de problemas não definidos
8	T8 - Os alunos não estão familiarizados com a teoria específica do processo por trás da PBL
9	T9 - Os alunos não têm conhecimento das ferramentas de qualidade para solução de problemas
10	T10 - Os alunos não são treinados no processo relativo a indústria específica da PBL

Fonte: elaborado pelos autores

4 RESULTADOS

O mapa do processo de PBL usado na universidade estudada para apoiar as empresas da região é mostrado na Figura 1. As letras vermelhas representam a categoria de risco: C: falha na aprendizagem cognitiva, S: falha na aprendizagem social e T: aprendizagem teórica e prática.

Figura 1 - Estrutura na condução de projetos e riscos de PBL



Fonte: elaborado pelos autores

Os fatores de risco que afetam o fracasso da PBL identificados na literatura pesquisada e na revisão do mapa do processo são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de risco que afetam o fracasso da PBL

Risco ID Número	Fatores de Risco
1	Falta de procedimento para o processo de PBL.
2	Os alunos e professores não são treinados adequadamente sobre o procedimento.
3	Falta de trabalho padrão para a execução de PBLs.
4	Explicação inadequada das expectativas para os alunos.
5	Falta de definição básica do princípio por trás dos projetos.
6	Falta de descrição clara dos requisitos.
7	Complexidade do projeto incompatível com o tempo e os recursos.
8	O projeto não está relacionado à disciplina.
9	A carga de trabalho é muito pesada para o aluno.
10	A baixa capacidade dos alunos (alunos lentos).
11	Número de alunos inadequado (muito grande ou muito pequeno).
12	Os membros da equipe não são igualmente fortes.
13	Designa os alunos para equipes em vez de permitir que eles mesmos escolham a equipe.
14	O professor não dá <i>feedback</i> .
15	Não há diretrizes para o funcionamento da equipe.
16	Os alunos não são incentivados pelos professores.
17	A cúpula dos alunos não é ativa

18	Não há foco no projeto.
19	O relacionamento entre o professor e os alunos não é bom.
20	Falta de paciência e entusiasmo.
21	O professor não apoia a construção baseada no conhecimento.
22	O professor não apoia a construção da base de argumentos.
23	Falta de conhecimento do conteúdo técnico e experiência do professor
24	O professor não tem habilidades relacionadas com a indústria.
25	Falta de definição para a organização do conteúdo do projeto.
26	Não há descrição do conteúdo do relatório.
27	Métodos de solução de problemas não definidos.
28	Os alunos não estão familiarizados com a teoria específica do processo por trás da PBL.
29	Os alunos não têm conhecimento de ferramentas de qualidade para a solução de problemas.
30	Os alunos não são treinados em processos industriais específicos de PBL.

Fonte: elaborado pelos autores

Os fatores de risco são agrupados em categorias para estabelecer a relação de causa e efeito com o fracasso da PBL usando o Diagrama de Afinidade mostrado na Tabela 4. Este mostrará os fatores de risco dentro de três princípios de aprendizagem e nove categorias, conforme sugerido por Xiangyun (2013).

Tabela 4 – Clusters de fatores de Riscos agrupados por categorias

Tipos	Categorias	Identificação de Risco	Fatores de Risco
C: Fracasso na Aprendizagem Cognitiva	CA: Não existe padronização do Procedimento de PBL	C1	Falta de procedimento para o processo de PBL.
		C2	Os alunos e professores não são treinados adequadamente sobre o procedimento de PBL.
		C3	Falta de trabalho padrão para a execução de PBLs.
	C.B.: Requisitos Específicos de PBL não definidos com precisão	C4	Explicação insuficiente das expectativas para os alunos.
		C5	Falta de definição básica do princípio por trás dos projetos.
		C6	Falta de definição clara dos requisitos.
		C7	Complexidade do projeto incompatível com o tempo e os recursos.
	CC: Escolha equivocada do Projeto	C8	O projeto não está relacionado à disciplina.
		C9	A carga de trabalho é muito pesada para o aluno.
		C10	Falta de procedimento para o processo de PBL

S: Fracasso na Aprendizagem Social	S.A.: Práticas de formação de equipes não utilizada	S1	O número de alunos no projeto é inadequado (muito grande ou muito pequeno)
		S2	Os membros da equipe do projeto não são igualmente fortes.
		S3	Designa os alunos para as equipes em vez de permitir que eles mesmos escolham a equipe.
		S4	O professor não dá <i>feedback</i> sobre o projeto
	S.B.: Professor de PBL não ativo no Projeto	S5	Não há diretrizes para a operação da equipe no projeto.
		S6	Os alunos não são incentivados pelos professores.
		S7	Alguns dos alunos não foram ativos no projeto
		S8	Não há foco no projeto
		S9	O relacionamento entre professor e aluno não é bom.
		S10	Os alunos e os professores não têm paciência e entusiasmo.
T: Fracasso na Aprendizagem de Teoria e Prática	TA: Professor de PBL não preparado para o Projeto	T1	O professor não apóia a construção baseada em conhecimento.
		T2	O professor não apoia a construção baseada em argumentos.
		T3	Falta de conhecimento do conteúdo técnico e de experiência do professor
		T4	O professor não tem habilidades industriais.
	T.B.: Nenhuma definição de organização de registro de PBLs.	T5	Falta de definição da organização do conteúdo do projeto
		T6	Nenhuma definição do conteúdo do relatório do projeto
		T7	Métodos de solução de problemas não definidos.
		T8	Os alunos não estão familiarizados com a teoria específica do processo por trás da PBL
	T.C.: Alunos não preparados para PBL	T9	Os alunos não têm conhecimento das Ferramentas de Qualidade para a solução de problemas
		T10	Os alunos não são treinados no processo industrial específico da PBL

Fonte: elaborado pelos autores

O AHP foi empregado para avaliar e comparar sistematicamente os fatores de risco dentro de cada categoria de aprendizagem em pares. Foi realizada uma entrevista com professores e alunos para avaliar o impacto de cada risco no fracasso da PBL. O cálculo quantitativo dos valores de peso do risco (impacto) foi derivado de uma matriz

comparativa par a par preenchida. Os dados empíricos foram convertidos em modelos matemáticos utilizando-se uma tabela hierárquica estabelecida por Saaty (2009), conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5 – Importância Relativa

Importância	Definição
1	Ambos os elementos são de igual importância
3	Importância moderada de um elemento em relação ao outro
5	Importância decisiva de um elemento em relação ao outro
7	Importância muito forte de um elemento em relação ao outro
9	Importância extrema de um elemento em relação ao outro

Fonte: elaborado pelos autores

Foi realizada uma entrevista para obter informações de professores e alunos sobre o grau de influência que cada risco tem sobre o possível fracasso da PBL. A equipe de estudo preparou as Matrizes AHP. Para ilustrar como isso foi feito, segue um exemplo: ao preparar a Tabela 6 para as categorias de risco, foi feita uma pergunta específica aos participantes: "No caso de fracasso da PBL, qual é a importância de uma categoria (por exemplo, C. A.) em comparação com outra (por exemplo, C. B.) na contribuição para o fracasso"? Por exemplo, supondo que uma pontuação de sete seja atribuída com base na Tabela 5, denotada como $a_{12}=7$, isso significa que o elemento C.A. tem uma importância considerável em relação ao elemento C.B. Por simetria, se $a_{12}=7$, presume-se que $a_{21}=1/7$. Isso implica que a importância do elemento C.B. em relação ao elemento C.A. é inversamente proporcional.

Tabela 6 – Matriz AHP com Categorias de Risco

Criteria Comparison Matrix										
<u>Risk Factors</u>	CA: No Standardization of PBL Procedure	CB: PBL specific requirements not defined accurately	CC: Wrong Choice of Project	SA: Team Building practices not used	SB: PBL Professor not active in the project	SC: Team lack of Motivation	TA: PBL Professor not prepared for the project	TB: No definition of PBL records organization	TC: Students not prepared for the PBL	Weights
CA: No Standardization of PBL Procedure	1	1	7	5	3	7	3	5	3	0,26
CB: PBL specific requirements not defined accurately	1	1	3	5	3	7	3	7	3	0,23
CC: Wrong Choice of Project	1/7	1/3	1	1	5	3	3	3	3	0,13
SA: Team Building practices not used	1/5	1/5	1	1	1	1	1/3	3	3	0,07
SB: PBL Professor not active in the project	1/3	1/3	1/5	1	1	3	1	3	3	0,08
SC: Team lack of Motivation	1/7	1/7	1/3	1	1/3	1	1	3	1/3	0,04
TA: PBL Professor not prepared for the project	1/3	1/3	1/3	3	1	1	1	5	3	0,10
TB: No definition of PBL records organization	1/5	1/7	1/3	1/3	1/3	1/3	1/5	1	1/3	0,03
TC: Students not prepared for the PBL	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	3	1/3	3	1	0,06
TOTAL	3,69	3,82	13,53	17,67	15,00	26,33	12,87	33,00	19,67	

Fonte: elaborado pelos autores

A importância relativa de todos os outros riscos descritos na Tabela 4 foi estimada de forma semelhante e traduzida em uma matriz numérica de comparação par a par. Após a conclusão da matriz comparativa entre pares, os valores de peso dos riscos (impacto) podem ser determinados quantitativamente usando o vetor próprio correspondente ao valor próprio máximo das matrizes comparativas entre pares como valores ponderados. O AHP aplicado ao princípio de Aprendizagem Cognitiva indica que os fatores de risco mais influentes são C1 e C3. Para tratar do fator de risco C1, recomenda-se a implementação de um procedimento para documentar o processo de PBL. Quanto ao fator de risco C3, a ação sugerida envolve o estabelecimento de protocolos padrão para a aplicação do PBL. O AHP aplicado ao princípio da Aprendizagem Social revela que os fatores de risco mais significativos são S3 e S6. Para atenuar o fator de risco S3, recomenda-se que os alunos não sejam designados para o grupo de PBL, mas que possam escolher o grupo com o qual desejam trabalhar. A abordagem do fator de risco S6 envolve o treinamento de professores para incentivar os alunos a se envolverem ativamente nas atividades de PBL. A análise da AHP para o princípio de Aprendizagem Técnica indica que os fatores de risco mais significativos são T3 e T4. As ações recomendadas para mitigar o fator de risco T3 envolvem garantir que o professor designado para um projeto possua o conhecimento técnico e a experiência necessários.

Com relação ao fator de risco T4, é imperativo confirmar que o professor também possui experiência prática no setor em que o PBL está programado para ser desenvolvido. A análise da AHP para as categorias de fatores de risco revela que C.A. e C.B. exercem a influência mais significativa. Tanto a CA quanto a C.B. apresentam ações idênticas para os fatores de risco C1 e C3. Especificamente, o C1 diz respeito à abordagem de questões processuais na documentação do processo de PBL, enquanto a ação recomendada para o fator de risco C3 envolve o estabelecimento de procedimentos padronizados para a implementação da PBL. As pontuações de impacto associadas aos pesos foram derivadas da Tabela 7. Essas pontuações de impacto são codificadas por cores, com faixas marcadas em vermelho, amarelo, laranja e verde para significar níveis variados de impacto.

Tabela 7 – Fatores de risco afetam o fracasso da PBL

Pontuação do Nível de Impacto		
Score	Nível de Impacto	Impacto
5	Alta	Mais de 0,16
4	Elevada	0,12-0,16
3	Moderada	0,08-0,11
2	Baixa	0,04-0,07
1	Limitada	Menos de 0,04

Fonte: elaborado pelos autores

O índice de risco foi derivado para cada princípio de aprendizagem. O índice de risco é determinado pela multiplicação das pontuações de probabilidade e impacto. A classificação de cores do índice de risco é determinada usando a matriz de pontuação de risco ilustrada na Figura 4 (Hyun *et al.*, 2015). Para ilustrar a definição do índice de risco, o índice de risco final para o fator de risco T1 da Tabela 9 foi calculado da seguinte forma: considerando a probabilidade de T1 como 0,7 e o impacto como 0,05, a pontuação de classificação de probabilidade é 4 (consulte a Tabela 8) e a pontuação de classificação de impacto é 2 para o fator de risco T1. O índice de risco final para T1 é obtido com base na Figura 4, resultando em uma pontuação de 8, que é o produto de 4 e 2. O índice de risco para cada princípio de aprendizagem é calculado usando o mesmo método.

Tabela 8 - Fatores de risco que afetam o fracasso da PBL

Probability Level Score			Impact Level Score		
Score	Probability Level	Probability	Score	Impact Level	Impact
5	Expected	More than 0,80	5	High	More than 0,16
4	Very probable	0,51-0,80	4	Elevated	0,12-0,16
3	Probable	0,31-0,50	3	Moderated	0,08-0,11
2	Improbable	0,11-0,30	2	Low	0,04-0,07
1	Almost no probability	Less than 0,10	1	Limited	Less than 0,04

Fonte: elaborado pelos autores

A cor do índice de risco é obtida combinando a probabilidade e o impacto e consultando a Figura 2.

Figura 2 - Matriz de pontuação de risco

		RISK				
		Limited	Low	Moderate	Elevated	High
		1	2	3	4	5
Probability	Almost no probability	1	2	3	4	5
	Unlikely	2	4	6	8	10
	Probable	3	6	9	12	15
	Very probable	4	8	12	16	20
	Expected	5	10	15	20	25
Risk Factor Classification						
1-5		Insignificant	6-9		Tolerable	10-16
					Undesireble	17-25
						Intolerable

Fonte: elaborado pelos autores

O índice de risco para a Falha de Aprendizagem Teórica e Prática, conforme determinado pela matriz de pontuação de risco, está ilustrado na Tabela 9. O índice de risco para a Falha de Aprendizagem Social e a Falha de Aprendizagem Cognitiva foram preparados de forma semelhante, e os resultados são apresentados no próximo parágrafo.

Tabela 9 - Fatores de risco que afetam o fracasso da PBL

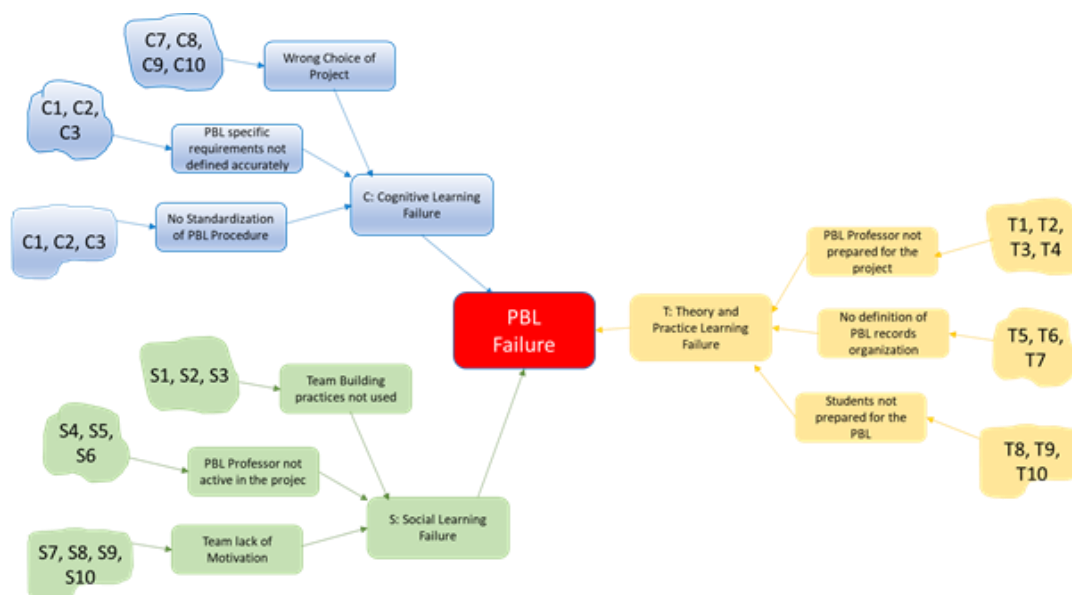
Factors	Probability	Impact	Probability Score	Impact Score	Risk Index
T1 - Professor do not support knowledge base construction	0,7	0,05	4	2	8
T2 - Professor do not support Argument base construction	0,7	0,0404	4	2	8
T3 - Lack of professor technical content knowledge and experience	0,5	0,2401	3	5	15
T4 - Professor has no industrial skills	0,8	0,2189	4	5	20
T5 - Lack of definition for the project content organization	0,7	0,0457	4	2	8
T6 - No definition of report content	0,8	0,026	5	1	5
T7 - Problem solving methods not defined	0,8	0,1075	4	3	12
T8 - Students are not familiar with specific process theory behind PBL	0,2	0,0935	2	3	6
T9 - Students have no knowledge of Quality Tools for problem solving	0,5	0,1102	3	3	9
T10 - Students not trained on specific PBL industrial process	0,3	0,0666	2	2	4

Fonte: elaborado pelos autores

A pontuação de probabilidade e impacto da falha na aprendizagem cognitiva mostra que o índice de risco mais alto é o C1. As ações a serem tomadas para o fator de risco C1 são a emissão de um procedimento para documentar o processo de PBL, e o fator de risco C2 é treinar os professores no procedimento documentado. A Pontuação de Probabilidade e Impacto da Falha na Aprendizagem Social indica que os índices de risco mais altos estão associados a S3, S6 e S9. Para atenuar o risco associado à S3, a ação recomendada é não designar os alunos para grupos de PBL e, em vez disso, permitir que eles escolham o grupo com o qual desejam colaborar. Para S6, a ação proposta envolve o treinamento de professores para motivar os alunos a se envolverem em atividades de PBL. Por fim, para a S9, a medida sugerida é oferecer treinamento em formação de equipes para professores e alunos. A Falha na Aprendizagem de Teoria e Prática, conforme ilustrado pela Pontuação de Probabilidade e Impacto, revela que os índices de risco mais altos estão associados a T4 e T3. Para mitigar o risco associado ao T3, é imperativo garantir que o professor designado possua o conhecimento técnico e a experiência necessários. Quanto ao fator de risco T4, a medida proativa confirma que o professor possui experiência prática no setor relevante para o desenvolvimento do projeto de PBL.

A Figura 3 exibe a BBN construída usando o conectivo lógico OR para amalgamar as probabilidades derivadas da pesquisa. Esse amálgama engloba todos os fatores de risco em várias categorias de princípios de aprendizagem.

Figura 3 - BBN combinando todos os fatores de risco



Fonte: elaborado pelos autores

Os valores de probabilidade derivados da pesquisa passaram por ajustes com base nas experiências dos entrevistados, conforme ilustrado na Tabela 10. Após as correções, essas probabilidades foram inseridas no software Bayesian Belief Network (BBN). As probabilidades associadas a cada risco foram reunidas, facilitando a execução da análise de sensibilidade para identificar o fator de risco mais significativo.

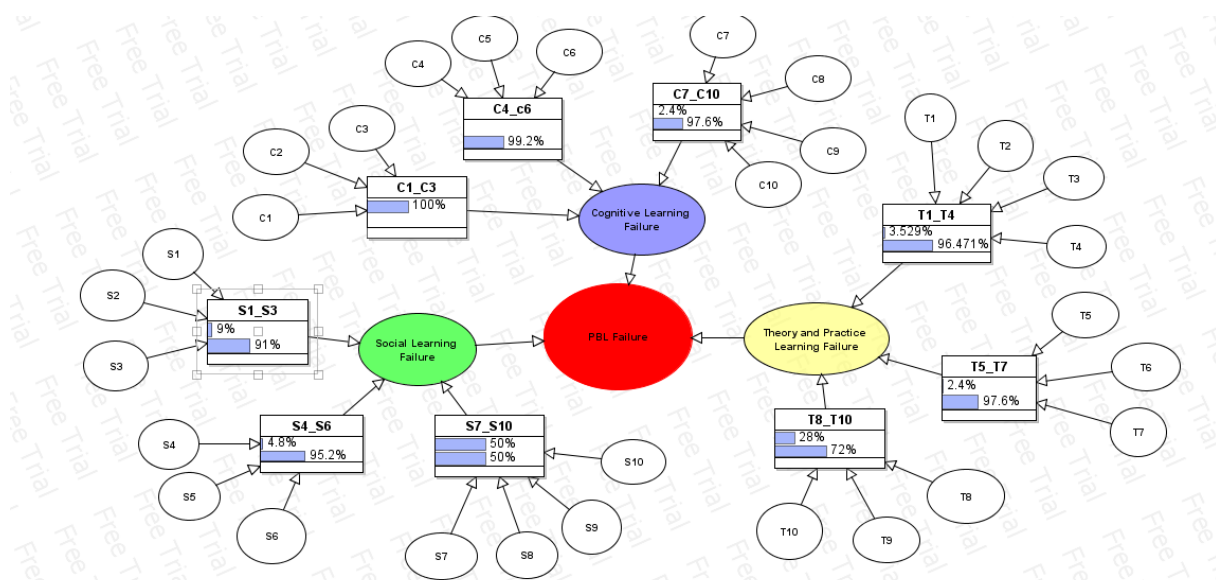
Tabela 10 – Período de Experiência & Peso

Período de Experiência (E) & Peso	
Menos de 5 anos	0.60
6-10 anos	0.75
11-15 anos	0.09
Mais de 15 anos	1.00

Fonte: elaborado pelos autores

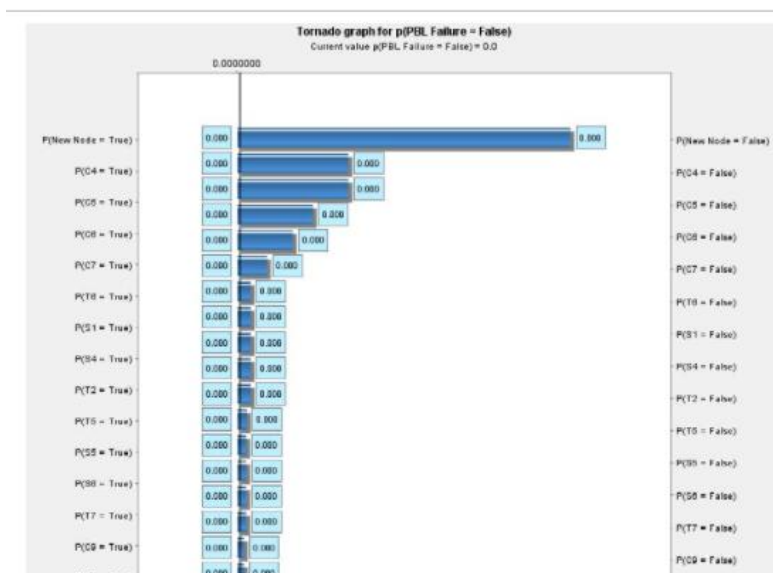
As Figuras 4 e 5 mostram os gráficos gerados a partir do software BBN.

Figura 4 - BBN combinando todos os fatores de risco preparados com o software Agena Risk



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 5 – Gráfico Tornado



Fonte: elaborado pelos autores

O gráfico de Tornado apresentado na Figura 7 revela que os riscos com as probabilidades mais altas estão associados ao índice de risco mais alto, a saber, C4 (explicação deficiente das expectativas para os alunos), C5 (falta de definição de antecedentes sobre os princípios por trás dos projetos) e C6 (falta de definição clara dos requisitos). Para abordar o fator de risco C4, é imperativo garantir que o procedimento inclua o esclarecimento das expectativas para professores e alunos. Da mesma forma, o plano de ação para o fator de risco C5 envolve a incorporação da cobertura dos princípios por trás dos projetos dentro do procedimento. Finalmente, para o fator de risco C6, é essencial garantir que o procedimento inclua de forma abrangente a definição dos requisitos do projeto. Um resumo das principais ações recomendadas para os riscos de alta pontuação é apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Ações de Respostas para Riscos

Risco identificado	Ações de respostas para Riscos
C1 e C2 (da AHP)	As ações a serem tomadas para o fator de risco C1 são a emissão de um procedimento para documentar o processo de PBL, e o fator de risco C2 é treinar os professores sobre o procedimento documentado.
S3, S6, e S9 (da AHP)	Para mitigar o risco associado ao S3, a ação recomendada é não designar alunos para grupos de PBL e, em vez disso, permitir que eles escolham o grupo com o qual desejam colaborar. Para S6, a ação proposta envolve o treinamento de professores para motivar os alunos a se envolverem em atividades de PBL. Por fim, para a S9, a medida sugerida é oferecer treinamento em formação de equipes para professores e alunos.
T4 e T3(da AHP)	Para mitigar o risco associado ao T3, é imperativo garantir que o professor designado possua o conhecimento técnico e a experiência necessários. Quanto ao fator de risco T4, a medida proativa confirma que o professor possui experiência prática no setor relevante para o desenvolvimento do projeto de PBL.
C4, C5 e C6 (do BBN)	Para lidar com o fator de risco C4, é imperativo garantir que o procedimento inclua o esclarecimento das expectativas para professores e alunos. Da mesma forma, o plano de ação para o fator de risco C5 envolve a incorporação da cobertura dos princípios por trás dos projetos dentro do procedimento. Finalmente, para o fator de risco C6, é essencial garantir que o procedimento inclua de forma abrangente a definição dos requisitos do projeto.

Fonte: elaborado pelos autores

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa são apresentados por meio de um mapa visual do processo de PBL destacando os riscos associados, uma lista categorizada de fatores de risco, o instrumento de pesquisa para obter as probabilidades de risco, a matriz AHP para os fatores de risco, as categorias de risco, uma análise de sensibilidade realizada por meio da BBN e uma lista de ações de resposta para os riscos com pontuação alta.

Conforme descrito na introdução, este estudo demonstra na seção de resultados a utilização eficaz do Processo de Hierarquia Analítica (AHP) em conjunto com as Redes de Crenças Bayesianas (BBN) para avaliar e priorizar os fatores de risco associados ao fracasso da Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL). Um exame abrangente da literatura existente facilitou a identificação dos fatores de risco no processo de PBL. A proposta de uma matriz de risco global é fundamentada, pois fornece percepções cruciais para identificar e priorizar os possíveis riscos que levam ao fracasso da PBL. Esse método demonstra ser uma ferramenta potente de tomada de decisões para as universidades. O estudo ressalta que a PBL é suscetível a diversos riscos, alguns com potencial para comprometer a sustentabilidade das universidades. A análise probabilística de riscos é fundamental para compreender e implementar respostas aos riscos para evitar o fracasso.

6 CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma revisão abrangente da literatura anterior sobre os riscos associados à aprendizagem baseada em projetos (PBL) e introduziu um novo modelo de avaliação de riscos nesse contexto. A importância do presente trabalho está em seu potencial para auxiliar na tomada de decisões de professores e coordenadores de escolas de Engenharia, identificando riscos significativos inerentes ao processo de PBL. Com a introdução desse método inovador de avaliação de riscos, preenchemos uma lacuna crítica na literatura existente, já que estudos anteriores não exploraram esse aspecto específico de forma aprofundada. A contribuição é digna de nota, pois capacita os tomadores de decisão a alocar fundos estrategicamente, protegendo assim atividades essenciais que contribuem para a sustentabilidade das universidades.

Em resposta à Pergunta de Pesquisa 1: Como identificar os fatores de risco mais significativos no uso da PBL no ensino de estudantes de Engenharia? O modelo proposto para avaliação de risco de falha da PBL integra o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) e as Redes Bayesianas para priorizar os riscos de forma eficaz. Ao abordar as questões de pesquisa relativas à identificação de fatores de risco significativos, o estudo demonstra como o AHP identifica riscos críticos dentro dos princípios de Aprendizagem Cognitiva, Social e Técnica e as categorias de fatores de risco associadas.

Em resposta à Pergunta de Pesquisa 2: Como as probabilidades e os impactos desses riscos podem ser combinados para gerar um índice de risco, e como a análise de sensibilidade usando BBN pode ser conduzida? A combinação de probabilidade e

impacto para a determinação do índice de risco e a análise de sensibilidade usando as Redes de Crenças Bayesianas (BBN) foi adequada, e o estudo oferece uma abordagem abrangente. Além disso, são delineadas ações de resposta específicas para cada fator de risco de alta pontuação identificado, abordando a terceira pergunta da pesquisa.

O objetivo principal deste estudo foi identificar os fatores de risco críticos que afetam a PBL e propor um processo otimizado para melhorar a qualidade das PBLs. As implicações são substanciais, pois as modificações no processo de PBL podem levar a melhorias significativas e evitar falhas. A metodologia proposta, apoiada por resultados robustos, contribui para a pesquisa existente e aborda os desafios encontrados por educadores, alunos e profissionais que lutam por uma educação de qualidade. Com base nas experiências e percepções de professores e alunos, este estudo está preparado para enriquecer a compreensão das partes interessadas na educação.

De forma significativa, este estudo se destaca como o primeiro a aplicar o AHP e o BBN para identificar riscos na PBL. A abordagem otimizada proposta tem aplicabilidade universal em qualquer universidade ou instituição educacional, oferecendo um caminho para aumentar a eficácia e a sustentabilidade do ensino. Ao destacar a interconexão de vários fatores que influenciam o processo de PBL

Reconhecendo a importância de compreender os fatores de risco mais impactantes na Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL), este estudo destaca sua relevância para professores, estudantes e gestores universitários. O método modificado apresenta potencial para otimizar a formação em engenharia, contribuindo para a melhoria da qualidade e da efetividade do processo educacional. Conclui-se com a indicação de possíveis caminhos para pesquisas futuras, incluindo aplicações mais amplas da análise de riscos na PBL e aperfeiçoamentos na metodologia existente, com o objetivo de mitigar o risco de falhas.

REFERÊNCIAS

BANI-HANI, E. *et al.* Factors affecting the team formation and work in project-based learning (PBL) for multidisciplinary engineering subjects. **Journal of Problem-Based Learning in Higher Education**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 136–143, 2018. Disponível em: <https://somaesthetics.aau.dk/index.php/pbl/article/view/2002>. Acesso em: 18 jun. 2025.

BEDDOES, K. D. *et al.* Identifying opportunities for collaborations in international engineering education research on problem- and project-based learning. **Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning**, [S. l.], v. 4, n. 2, p. 7–34, 2010. DOI: [10.7771/1541-5015.1142](https://doi.org/10.7771/1541-5015.1142).

BHASKAR, P. *et al.* Inhibiting factors influencing adoption of simulation-based teaching from management teacher's perspective: prioritization using analytic hierarchy process. **International Journal of Learning and Change**, [S. l.], v. 15, n. 5, p. 529–551, 2023.

BIELEFELDT, A., *et al.* (2009, February). Measuring the impacts of project-based service learning. In: ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 2009. Austin. **Proceedings** [...]. Austin: ASEE PEER, 2009. Disponível em: <https://peer.asee.org/measuring-the-impacts-of-project-based-service-learning>. Acesso em: 18 jun. 2025.

CHIPMAN, H.; HAMADA, M. Using bayesian variable selection to analyze regular resolution IV two-level fractional factorial designs. **Quality and Reliability Engineering International**, [S. l.], v. 33, n. 3, p. 493–502, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/qre.2022>. Acesso em: 18 jun. 2025.

DAUN, M. *et al.* Project-based learning with examples from industry in university courses: an experience report from an undergraduate requirement engineering course. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ENGINEERING EDUCATION AND TRAINING (IEEE), 29., 2016, Inglaterra. **Proceedings** [...]. Inglaterra: CSEE&T, 2016. p. 184–193.

DONG, Q.; SAATY, T. L. An analytic hierarchy process model of group consensus. **J. Syst. Sci. Syst. Eng.**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 362–374, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11518-014-5247-8>. Acesso em: 16 jun. 2025.

DROGUETT, E. L.; GROEN, F.; MOSLEH, A. The combined use of data and expert estimates in population variability analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, [S. l.], v. 83, n. 3, p. 311–321, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832003002345>. Acesso em:

DU, X.; SU, L.; LIU, J. Developing sustainability curricula using the PBL method in a Chinese context. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 61, p. 80–88, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613000176>. Acesso em: 16 jun. 2025.

FIGUEIREDO, M. A. D. *et al.* The initial model of the application of PBL in industrial engineering. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON PROJECT APPROACHES IN ENGINEERING EDUCATION, 9., 2017, Brasília. **Proceedings** [...], 2017. Brasília: Project Approaches in Engineering Education (Paee), 2017. Disponível em: http://paee.dps.uminho.pt/proceedingsSCOPUS/PAEE_2017_PROCEEDINGS.PDF#page=90. Acesso em: 15 jun. 2025.

GARCÍA-MARTÍN, J.; PÉREZ-MARTÍNEZ, J. E. Method to guide the design of project-based learning activities based on educational theories. **International Journal of Engineering Education**, [S. l.], v. 33, n. 3, p. 984–999, 2017. Disponível em: <https://oa.upm.es/id/eprint/46924>. Acesso em: 16 jun. 2025.

GRAAFF, E., KOLMOS, A., 2003. Characteristics of problem-based learning. **International Journal of Engineering Education**, [S. l.], v. 19, n. 5, p. 657e662, 2003. Disponível em: <https://vbn.aau.dk/en/publications/characteristics-of-problem-based-learning>. Acesso em: 15 jun. 2025.

GROTH, K. M.; SWILER, L. P. Bridging the gap between HRA research and HRA practice: a bayesian network version of SPAR-H. **Reliability Engineering and System Safety**, [S. l.], v. 115, p. 33–42, jul. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095183201300050>. Acesso em: 16 jun. 2025.

HANSEN, D., CAVERS, W.; GEORGE, G. H. Use of a physical linear cascade to teach systems modelling. **International Journal of Engineering Education**, [S. l.], v. 19, n. 5, p. 682–695, 2003. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Glyn-George-2/publication/299035524_Use_of_a_Physical_Linear_Cascade_to_Teach_Systems_Modelling/links/54f45a9c0cf299c8d9e6b082/Use-of-a-Physical-Linear-Cascade-to-Teach-Systems-Modelling.pdf. Acesso em: 16 jun. 2025.

HENDERSON, C., *et al.* Use of research based instructional strategies in introductory physics: where do faculty leave the innovation-decision process? **Physical Review Special Topics-Physics Education Research**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 1-15, 2012. Disponível em: <https://journals.aps.org/prper/abstract/10.1103/PhysRevSTPER.8.020104>. Acesso em: 16 jun. 2025.

HYUN, K. C. *et al.* Risk analysis using fault tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicale to shield TBM tunnels. **Tunnelling and Underground Space Technology**, [S. l.], v. 49, p. 121-129, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779815000632>. Acesso em: 16 jun. 2025.

JUCKER, R. Sustainability? Never heard of it! e some basics we shouldn't ignore when engaging in education for sustainability. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 8-18, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242338596_Sustainability_Never_heard_of_it_Some_basics_we_shouldn't_ignore_when_engaging_in_education_for_sustainability. Acesso em: 16 jun. 2025.

KIM, K. *et al.* (2022). Probabilistic tunnel collapse risk evaluation model using analytical hierarchy process (AHP) and Delphi survey technique. **Tunnelling and Underground Space Technology**, [S. l.], 120, 104262, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779821004533>. Acesso em: 16 jun. 2025.

KJELLBERG, M.; ADAWI, T.; BROLIN, K. Challenges in Implementing PBL: chalmers formula student as a case. **In Proceedings of the 43rd Annual SEFI**, [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/93585126/56749-M.-KJELLBERG.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MAHADEVAN, S.; ZHANG, R.; SMITH, N. Bayesian networks for system reliability reassessment, **Structural Safety**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 231–251, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167473001000170>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MARQUES, *et al.* Enhancing the student learning experience in software engineering project courses. **IEEE Transactions on Education**, [S. l.], v. 61, n. 1, p. 63–73, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8026185/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MEROLA, R. H.; COELEN, R. J.; HOFMAN, W. H. A. What really matters? Factors impacting international student satisfaction: the case of the U. K. **Int. J. Management in Education**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 83–101, 2022. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJMIE.2022.119684>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MKRTCHYAN, *et al.* Insurability risk assessment of oil refineries using bayesian belief networks. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, [S. l.], v. 74, p. 104673, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423021002795>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MLS, K.; OTČENÁŠKOVÁ, T. Analysis of complex decisional situations in companies with the support of AHP extension of Vroom-Yetton contingency model. *In*: IFAC CONFERENCE ON MANUFACTURING MODELLING, MANAGEMENT AND CONTROL, 7., 2013, Saint Petersburg. **Proceedings** [...]. Saint Petersburg: IFAC, 2013. p. 549–554. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667016343439>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MOLINER, L. *et al.* On the perceptions of students and professors in the implementation of an inter-university engineering PBL experience. **European Journal of Engineering Education**, [S. l.], v. 44, n. 5, p. 726–744, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03043797.2018.1498829>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MOSLEH, A. Bayesian modeling of expert-to-expert variability and dependence in estimating rare event frequencies. **Reliability Engineering and System Safety**, [S. l.], v. 38, n. 1–2, p. 47–57, 1992. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/095183209290104S>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MOSLEH, A.; APOSTOLAKIS, G. The assessment of probability distributions from expert opinions with an application to seismic fragility curves. **Risk Analysis**, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 447–461, 1986. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1539-6924.1986.tb00957.x>. Acesso em: 16 jun. 2025.

NGUYEN, D. P. *et al.* Human resource management practices in higher education: a literature review using co-word analysis. **Int. J. Management in Education**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 40–61, 2022. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJMIE.2022.119682>. Acesso em: 16 jun. 2025.

PALMER, S.; HALL, W. An evaluation of a project-based learning initiative in engineering education. **European Journal of Engineering Education**, [S. l.], v. 36, n. 4, p. 357–365, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03043797.2011.593095>. Acesso em: 16 jun. 2025.

PEREIRA, J. C. *et al.* Risk assessment of quality management system failure via analytic hierarchy process and the effects on organisational sustainability. **International Journal of Quality and Innovation**, [S. l.], v. 3, n. 2–4, p. 154–171, 2017. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJQI.2017.090538>. Acesso em: 16 jun. 2025.

PEREIRA, J. C.; FAYER, G. C. Strategic decision making to maximise the efficiency of water usage in steel manufacturing process via AHP and BBN: a case study. **International Journal of Information and Decision Sciences**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 328–347, 2020. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJIDS.2020.110446>. Acesso em: 16 jun. 2025.

PEREIRA, J. C.; LIMA, G. B. A. Probabilistic risk analysis in manufacturing situational operation: application of modelling techniques and causal structure to improve safety performance. **International Journal of Production Management and Engineering (IJPME)**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 33-42, 2015. Disponível em:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4947162>. Acesso em: 16 jun. 2025.

PEREIRA, J. C.; LIMA, G. B. A.; PARRACHO SANTANNA, A. A bow-tie based risk framework integrated with a Bayesian belief network applied to the probabilistic risk analysis. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, [S. l.], v. 12, n. 2, 2015. Disponível em:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authType=crawler&jrnl=16798171&AN=112821900&h=AJsEbB%2Bu9F6Lcynk>. Acesso em: 16 jun. 2025.

PEREIRA, J. C.; QUELHAS, O. L. G.; LIMA, G. B. Contribution of design thinking to quantitative risk analysis: the influence of human factors on jet engines manufacturing process. **International Journal of Decision Sciences, Risk and Management**, [S. l.], 5(3), 293-310, 2014. Disponível em:

<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJDSRM.2014.067630>. Acesso em: 16 jun. 2025.

PEREIRA, J. C.; STEFANO, E.; ALMEIDA, F. Proposal of Method for Risk Assessment of Project-Based Learning Failure via AHP and BBN: a case study. *In*: PAEE/ALE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACTIVE LEARNING IN ENGINEERING, 2022, Alicante. **Proceedings** [...]. Alicante: PAEE, 2022. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Ercilia-Stefano/publication/362311033_SUBMISSION_68_-. Acesso em: 16 jun. 2025.

PEREIRA, J. C.; TZASCHEL, J.; ALMEIDA, Flavio A. Risk assessment of project based learning failure via bayesian belief networks and analytical hierarchy process – a literature review. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACTIVE LEARNING IN ENGINEERING EDUCATION, 2021, Braga. **Proceedings** [...], 2021. Braga: PAEE/ALE, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Flavio-L-Almeida/publication/352484588_Risk_Assessment_in_Magnetic_Particle_Inspection_MPI_of_critical_ferromagnetic_parts_via_Bayesian_Belief_Networks_and_Analytic_Hierarchy_Process. Acesso em: 16 jun. 2025.

PODOFILLINI L. AND DANG V.N. A bayesian approach to treat expert-elicited probabilities in human reliability analysis model construction. **Reliability Engineering and System Safety**, [S. l.], v. 117, p. 52-64, sept. 2013. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832013000914>. Acesso em: 16 jun. 2025.

PROVIDAKIS, S.; ROGERS, C. D.; CHAPMAN, D. N. 3D spatiotemporal risk assessment analysis of the tunnelling-induced settlement in an urban area using analytical hierarchy process and BIM. **Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards**, [S. l.], v. 16, n. 2), p. 251-266, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17499518.2021.1952607>. Acesso em: 16 jun. 2025.

RECHENTHIN, D. Project safety as a sustainable competitive advantage. **Journal of Safety Research**, [S. l.], v. 35, n. 3, p. 297-308, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022437504000556>. Acesso em: 16 jun. 2025.

REQUIES MARTÍNEZ, J. M. *et al.* Evolution of project-based learning in small groups in environmental engineering courses. **Journal of Technology and Science Education**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 45-62, 2018. Disponível em: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/117919>. Acesso em: 16 jun. 2025.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw Hill, 1980. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-86679-1_3. Acesso em: 16 jun. 2025.

SCHNEIDER, B. *et al.* **Learning science**: the value of crafting engagement in science environments. EUA: Yale University Press, 2020. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=JMnKDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Schneider>. Acesso em: 16 jun. 2025.

SETIAWAN, A. W. Implementation of project-based learning in biomedical engineering course in itb: opportunities and challenges. *In*: WORLD CONGRESS ON MEDICAL PHYSICS AND BIOMEDICAL ENGINEERING, 68/1., 2019, Prague. **Proceedings** [...]. Prague: IFMBE, 2019. p. 847-850. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-9035-6_156. Acesso em: 16 jun. 2025.

SHARMA, V. K *et al.* Risk enablers modelling for infrastructure projects using Bayesian belief network. **International Journal of Construction Management**, [S. l.], v. 22, n. 6, p. 993-1010, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15623599.2019.1678218>. Acesso em: 16 jun. 2025.

SOUSA, M., *et al.* Exploring organisational culture in higher educational institutions: a comparative study. **Int. J. Management in Education**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 62-82, 2022. Disponível em: <https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJMIE.2022.119683>. Acesso em: 16 jun. 2025.

STROBEL, J.; VAN BARNEVELD, A. When is PBL More Effective? A meta-synthesis of meta analyses comparing PBL to conventional classrooms. **The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning**, [S. l.], v. 3, n. 1, 44-58, 2009. Disponível em: <https://scholarworks.iu.edu/journals/index.php/ijpbl/article/view/28220>. Acesso em: 16 jun. 2025.

THEVATHAYAN, C. Evolving project-based learning to suit diverse student cohorts. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION AND ASSESSMENT IN SOFTWARE ENGINEERING, 22., 2018, EUA. **Proceeding** [...]. EUA: Association for Computing Machinery, 2018. p. 133 – 138. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/proceedings/10.1145/3210459>. Acesso em: 16 jun. 2025.

THOMAS, J. W. A review of research on project-based learning. **Retrieved**, [S. l.], 7 jun. 2000. Disponível em: https://tecfa.unige.ch/proj/eteach-net/Thomas_researchreview_PBL.pdf. Acesso em: 16 jun. 2025.

XIANGYUN, D.; LIYA, S.; JINGLING, L. Developing sustainability curricula using the PBL method in a Chinese context. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 61, n. 15, p. 80-88, dec. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613000176>. Acesso em: 16 jun. 2025.

AGRADECIMENTOS

Natália Fernandes da Motta agradece a FAPEMIG pela bolsa de mestrado no Programa de Pós-graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora (PROAC/UFJF).

Contribuição dos(as) autores(as)

José Cristiano Pereira – coordenador do projeto, responsável pela elaboração do campo teórico-conceitual, participação ativa na coleta e análise dos dados, e na redação do texto.

Ana Carolina Rios Coelho, Ercília Stefano, Thiago Piantino da Câmara e Natália Fernandes da Motta – análise dos dados e redação do texto.

Declaração de Conflito de Interesse

Os autores declaram que não há conflito de interesse com o artigo "Método de Avaliação do risco de falha na Aprendizagem Baseada em Projetos via AHP e BBN com vista à melhoria da qualidade do ensino da engenharia".

Disponibilidade de dados

Os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no artigo.

Revisado por: Thiago Piantino da Câmara

Email: thiago.42340061@ucp.br