

XVI SIMPÓSIO DOS PROGRAMAS DE MESTRADO PROFISSIONAL UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA

Análise da aplicabilidade do *Design of Experiments* no Mercado Financeiro: Revisão Sistemática da Literatura

Rafael Munhoz Cardoso¹, Érik Leonel Luciano²; Rosinei Batista Ribeiro³

Resumo: O mercado financeiro, especificamente o mercado de ações, é um setor da economia que apresenta grande volatilidade em seus ativos em função de diversos fatores, como instabilidade econômica dos países, conflitos políticos e indicadores econômicos. Nesse contexto, técnicas e ferramentas relacionadas ao planejamento de experimentos, do inglês *Design of Experiments* (DOE), geram vantagem competitiva na análise e identificação de fatores que podem interferir nessas volatilidades com maior ou menor grau de influência que, por sua vez, auxiliam em uma tomada de decisão mais ágil e assertiva. As ferramentas de análise de experimentos, acompanhadas do crescimento de poder computacional, vem se popularizando nos mais diversos segmentos, no entanto é subutilizada na área financeira. O objetivo geral deste trabalho é identificar o maior número possível de áreas em que o *Design of Experiments* está sendo utilizado e qual a sua aplicabilidade especificamente no mercado financeiro. Como objetivo específico, sintetizar os trabalhos publicados nos últimos 10 anos, classificando-os por região, idioma e autores, bem como destacando os artigos científicos mais relevantes com base em volume de citações. A metodologia adotada neste trabalho foi a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), por meio de análise bibliométrica. Espera-se que este trabalho possa associar a aplicação do DOE à área financeira, de modo que a sua utilização contribua com a análise e otimização dos seus resultados.

Palavras-chave: Design of Experiments; Aplicabilidade; Gestão da Inovação; Análise de Probabilidades; Mercado Financeiro.

Abstract: The financial market, specifically the stock market, is a sector of the economy that presents great volatility in its assets due to several factors, such as economic instability in countries, political conflicts and economic indicators. In this context, techniques and tools related to the design of experiments, from the English Design of Experiments (DOE), generate competitive advantage in the analysis and identification of factors that can interfere in these volatilities with a greater or lesser degree of influence, which, in turn, help in more agile and assertive decision-making. Experimental analysis tools, accompanied by the growth of computational power, have become popular in the most diverse segments, however, they are underused in the financial area. The general objective of this work is to identify as many areas as possible in which the Design

¹ Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS - Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa - Programa de Mestrado Profissional em Sistemas – rafael.cardoso@cpspos.sp.gov.br

² Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS - Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa - Programa de Mestrado Profissional em Sistemas – erik.luciano@cpspos.sp.gov.br

³ Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS - Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa - Programa de Mestrado Profissional em Sistemas – rosinei1971@gmail.com

of Experiments is being used and what is its applicability specifically in the financial market. As a specific objective, to synthesize the works published in the last 10 years, classifying them by region, language and authors, as well as highlighting the most relevant scientific articles based on the volume of citations. The methodology adopted in this work was the Systematic Literature Review (RSL), through bibliometric analysis. It is expected that this work can associate the application of the DOE to the financial area, so that its use contributes to the analysis and optimization of its results.

Keywords: Design of Experiments; Applicability; Innovation management; Probability Analysis; Financial market.

1. Introdução

Atualmente empresas dos mais diversos segmentos tem apresentado uma demanda crescente por ferramentas que ajudem na otimização de seus processos com foco na otimização de processos, redução de custos, na eliminação de desperdícios, na resolução de problemas e até mesmo em lançamentos de novos produtos ou teorias de estudo. O mercado financeiro, por sua vez, segue na mesma linha. É um setor permeado pelo fator incerteza, que lida constantemente com as instabilidades econômicas de diversos países e empresas, necessitando também de ferramentas para análise de cenários que permita introduzir variáveis e situações com o objetivo de se antecipar em situações que podem ou não se materializar, corrigindo a definição de rotas estratégicas e levando uma tomada de decisão mais assertiva para investimentos dos mais variados tipos.

Diante desse contexto, uma das ferramentas que vem se popularizando frente aos gestores dos mais diversos segmentos e ganhando novos adeptos é o *Design of Experiments* (DOE). Durakovic (2017), explica que *Design of Experiments* é uma ferramenta estatística implantada em vários tipos de design, desenvolvimento e otimização de sistemas, processos e produtos, utilizada para planejar e conduzir experimentos, bem como analisar e interpretar os dados obtidos nos experimentos. Ou seja, é uma ferramenta extremamente útil para as empresas, fazendo parte do seu processo de tomada de decisão.

Diante destas perspectivas, à medida que a procura por ferramentas de experimentação aumenta tanto por parte das empresas quanto pelos pesquisadores, é possível realmente aplicar o *Design of Experiments* em qualquer área sem distinção, sobretudo em um setor com alta instabilidade quanto o mercado financeiro? Em caso positivo, quais benefícios poderiam ser oferecidos para a área financeira?

O objetivo geral deste trabalho é identificar o maior número possível de áreas que o *Design of Experiments* está sendo aplicado, assim como de maneira específica sintetizar os trabalhos publicados nos últimos 10 anos, classificando cada trabalho em região, idioma e principais autores. Destacando os artigos científicos mais relevantes com base em volume de citações e, por fim, discutir a aplicabilidade do DOE de forma isolada no setor financeiro. Como metodologia será utilizado a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), através de estudo bibliométrico utilizando como base de dados *Web of Science* e como palavra-chave "*Design of Experiments*", tendo como marco temporal os últimos dez anos.

Espera-se que este trabalho possa levar mais uma ferramenta aos profissionais da área financeira que ajude na análise de riscos e traçar probabilidades, aumentando sua utilização.

2. Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica apresenta de forma objetiva os aspectos fundamentais relacionados ao planejamento de experimentos. São apresentados também tópicos fundamentais relacionados ao mercado financeiro.

2.1 Planejamento de Experimentos

São apresentados a seguir uma visão histórica do tema acompanhada das principais aplicações do planejamento de experimentos.

2.1.1. Perspectiva Histórica

Telford (2007), em seu trabalho, desenvolveu uma ordem cronológica sobre a perspectiva histórica do DOE destacando os seguintes marcos:

Inventado por Ronald A. Fisher nas décadas de 1920 e 1930 na Estação Experimental de *Rothamsted*, uma estação de pesquisa agrícola 40 quilômetros ao norte de Londres. Em seu primeiro livro, Fisher mostrou como conclusões válidas podem ser extraídas com eficiência de experimentos com flutuações naturais, como temperatura, condições do solo e precipitação, ou seja, na presença de variáveis desconfortáveis. Variáveis incômodas conhecidas frequentemente causam desvios sistemáticos em grupos de resultados (por exemplo, variação de lote para lote). Variáveis incômodas desconhecidas geralmente causam variabilidade aleatória nos resultados e são chamadas de variabilidade inerente ou ruído. Embora o método de projeto experimental tenha sido usado pela primeira vez em um contexto agrícola, o método tem sido aplicado com sucesso nas forças armadas e na indústria desde a década de 1940.

Besse Day, trabalhando no Laboratório de Experimentação Naval dos EUA, usou um projeto experimental para resolver problemas como encontrar a causa de soldas ruins em um estaleiro durante a Segunda Guerra Mundial.

W. Edwards Deming ensinou métodos estatísticos, incluindo design experimental, a cientistas e engenheiros japoneses no início da década de 1950, numa época em que "*Made in Japan*" significava baixa qualidade.

Genichi Taguchi, o mais conhecido desse grupo de cientistas japoneses, é famoso por seus métodos de melhoria de qualidade. Uma das empresas onde Taguchi aplicou seus métodos pela primeira vez foi a Toyota.

Desde o final dos anos 1970, a indústria dos Estados Unidos voltou a se interessar por iniciativas de melhoria da qualidade, agora conhecidas como programas de "Qualidade Total" e "Seis Sigma". O design experimental é considerado um método avançado nos programas Seis Sigma que foram pioneiros na Motorola e na GE.

2.1.2 O método Design of Experiments (DOE)

Whitford, (2018) explica que o *Design of Experiments* é uma técnica para planejar experimentos e analisar as informações obtidas. A técnica permite utilizar um número mínimo de experimentos, nos quais vários parâmetros experimentais são variados de forma sistemática para obter informações suficientes. Com base nos dados obtidos, um modelo matemático do processo estudado (por exemplo, a quantidade e o tempo de um componente de alimentação) é criado.

O modelo apontado por Whitford pode ser usado para entender a influência dos parâmetros experimentais no resultado e encontrar um ponto ótimo para o processo. Um software customizado pode ser usado para criar os projetos experimentais, para obter um modelo e para visualizar as informações geradas. Uma abordagem DoE pode melhorar muito a eficiência na triagem de condições experimentais adequadas, por exemplo, para cultura de células, complemento de nutrientes, nível de fator, otimização de um processo ou teste de robustez. (WHITFORD, 2018).

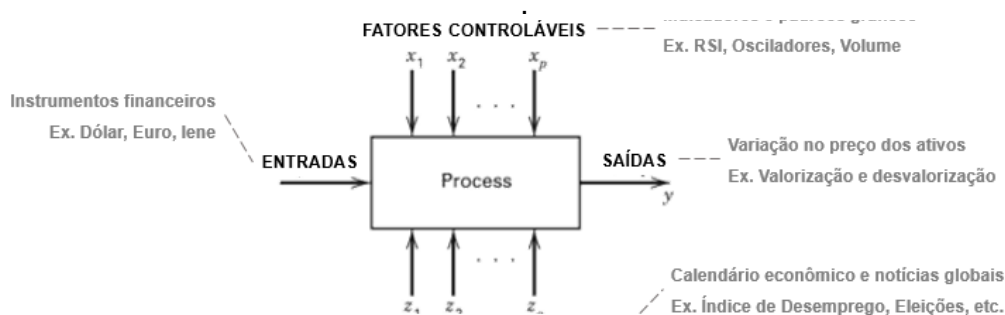
De acordo com Huairui Guo (2012), a aplicação do DOE não se limita à engenharia e que muitas histórias de sucesso podem ser encontradas em outras áreas. E que tem sido muito utilizado para reduzir custos administrativos, melhorar a eficiência dos processos cirúrgicos e estabelecer melhores estratégias de propaganda.

2.1.3 Principais usos do DOE

O poder computacional permite, através de técnicas de planejamento de experimentos, mineração de dados, aprendizagem de máquina e inteligência artificial, que análises complexas de grandes volumes de dados sejam realizadas quase que instantaneamente quando comparadas ao processo manual;

Segundo Durakovic (2017), DOE é uma ferramenta polivalente que pode ser utilizada em diversas situações para identificação de importantes fatores de entrada (variável de entrada) e como eles estão relacionados às saídas (variável de resposta). A Figura 1 apresenta uma adaptação do modelo geral de processo apresentado por Montgomery (2017) com os componentes usados nesse trabalho.

Figura 1. Modelo geral de processo e suas entradas, fatores controláveis e não controláveis e saídas.



Fonte: Adaptado de Montgomery (2017).

Para Huairui Guo (2012), os principais usos do DOE são:

1. **Comparação** - este é um fator entre as comparações múltiplas para selecionar a melhor opção que usa o teste t –, Teste Z – ou teste F –.
2. **Triagem variável** - geralmente são experimentos fatoriais de dois níveis destinados a selecionar fatores importantes (variáveis) entre muitas que afetam o desempenho de um sistema, processo ou produto.
3. **Identificação da função de transferência** - se variáveis de entrada importantes forem identificadas, a relação entre as variáveis de entrada e a variável de saída podem ser usadas para uma maior exploração do desempenho do sistema, processo ou produto via função de transferência.
4. **Otimização do sistema** - a função de transferência pode ser usada para otimização movendo o experimento para a configuração ideal das variáveis. Desta forma, o desempenho do sistema, processo ou produto pode ser melhorou.
5. **Projeto robusto** - trata da redução da variação no sistema, processo ou produto sem eliminação de suas causas. O design robusto foi iniciado pelo Dr. Genichi Taguchi, que tornou o sistema robusto contra ruído (fatores ambientais e incontrolláveis são considerados ruído). Geralmente, os fatores que causam a variação do produto podem ser categorizados em três grupos principais:
 - ✓ externo / ambiental (como temperatura, umidade e poeira);
 - ✓ interno (desgaste da máquina e envelhecimento dos materiais);
 - ✓ Variação de unidade para unidade (variações em materiais, processos e equipamentos).

2.2 Mercado financeiro

O mercado financeiro é composto por vários segmentos, alguns exemplos são Ações, Índices, Commodities, Fundos e Câmbio, sendo esse último o objeto de estudo desse projeto. Também conhecido como forex ou FX (do inglês *Foreign eXchange*), segundo Gameiro (2004, p. 5), “esse é o maior mercado financeiro do planeta. Enquanto o mercado de cambio opera um volume superior a \$2 trilhões de dólares por dia, no mesmo período o mercado de ações de Nova Iorque opera \$25 bilhões de dólares”.

No mercado de cambio, ou forex, as moedas são a base de operação, ou seja, são esses instrumentos que devem ser negociados para se gerar lucros. Na prática, quando você está negociando no mercado de cambio, você está comprando uma moeda contra outra (Calicchio, 2020).

Existem diversos fatores que indicam um possível comportamento iminente, como padrões gráficos, fatores políticos e indicadores. Um desses fatores é o indicador *Relative Strength Index* (RSI) ou Índice de Força Relativa (IFR) que, conforme afirmado por Lemos (2015, p. 63), “é um oscilador de impulsão que mede a velocidade e a mudança dos movimentos de preços. Ele compara a variação média de preços dos períodos de avanços com a variação média dos períodos de declínios”. Quando o nível desse indicador está inferior a 20, significa que há uma situação de valorização próxima ou seja, na prática, uma compra do ativo em análise é recomendada porque o preço tende a subir.

Além do RSI, outras variáveis da análise técnica podem indicar uma possível alteração no comportamento do instrumento financeiro, como indicadores de tendência, indicadores de volume, osciladores, padrões gráficos, entre outros.

Essa diversidade de indicadores pode ser aplicada na íntegra em todos os ativos financeiros existentes no mercado de câmbio, com diferentes parâmetros e níveis de assertividade em seus resultados. Para identificar em quais situações a aplicação desses indicadores tem maiores nível de assertividade, esse trabalho propõe a aplicação do Planejamento de Experimentos, também conhecido como DOE (do inglês *Design Of Experiments*). Um experimento pode ser definido como “um teste ou uma série de testes nos quais mudanças propositadas são feitas nas variáveis de entrada de um processo ou sistema para que possamos observar e identificar as razões para as mudanças que podem ser observadas na resposta de saída” (MONTGOMERY, 2009, p.01, tradução nossa).

3. Metodologia

A metodologia de Revisão Sistemática da Literatura apoiou a execução do trabalho de maneira clara e objetiva.

3.1 Revisão Sistemática da Literatura (RS)

A Revisão Sistemática (RS) é um modelo de revisão que usa métodos rigorosos e explícitos para identificar, selecionar, coletar dados, analisar e descrever as contribuições relevantes à sua pesquisa. Quando a RS utiliza análises estatística, essas revisões são chamadas de Meta-análise. (CORDEIRO et al., 2007).

Segundo Siddaway, Wood, Hedges, (2019) Revisão Sistemática (RS) é uma investigação científica menos dispendiosa com métodos sistemáticos pré-definidos para identificar sistematicamente todos os documentos relevantes publicados e não publicados para uma questão de investigação.

Para Donato (2019), na elaboração da RS, os seguintes passos devem estar explicitamente descritos, Quadro 1:

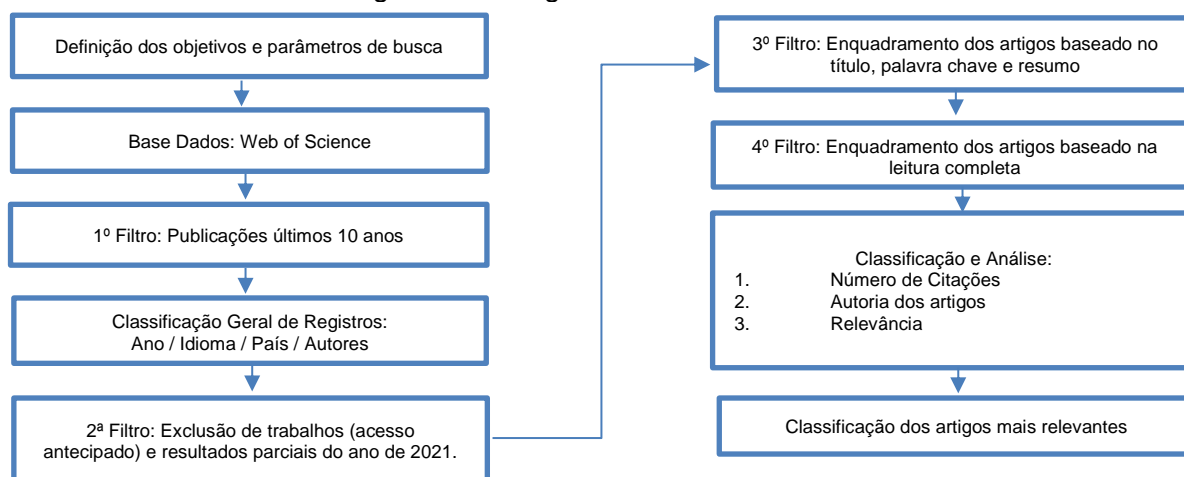
Quadro 1: Etapas da Revisão Sistemática (RS).

1. Formular uma questão de investigação;	7. Extração dos dados;
2. Produzir um protocolo de investigação e efetuar o seu registo (itens 1 e de 3 a 8 devem constar no protocolo de elaboração da revisão sistemática);	8. Síntese dos dados e avaliação da qualidade da evidência;
3. Definir os critérios de inclusão e de exclusão;	9. Disseminação dos resultados – Publicação. Todos estes passos têm de ser explicitamente descritos na revisão.
4. Desenvolver uma estratégia de pesquisa e pesquisar a literatura – encontrar os estudos;	7. Extração dos dados;
5. Seleção dos estudos;	8. Síntese dos dados e avaliação da qualidade da evidência;
6. Avaliação da qualidade dos estudos;	9. Disseminação dos resultados – Publicação.

Fonte: Adaptado pelos autores, Donato (2019).

Na Figura 2, elaborou-se um fluxograma definindo o caminho que a análise bibliométrica deste trabalho percorreu para atingir seus objetivos, sendo eles:

Figura 2. Fluxograma do estudo bibliométrico.



Fonte: Adaptado pelos autores de Garcia et al (2017).

Dentre as adaptações que foram feitas entre o quadro 1 e a figura 2, pode-se destacar como principais, a formulação da questão de pesquisa para nortear o trabalho, a definição da base de dados Web of Science e palavras chaves. O uso de critérios de inclusão e exclusão e a ênfase na avaliação e análise dos artigos identificando os trabalhos mais promissores e relevantes envolvendo DOE e Mercado Financeiro.

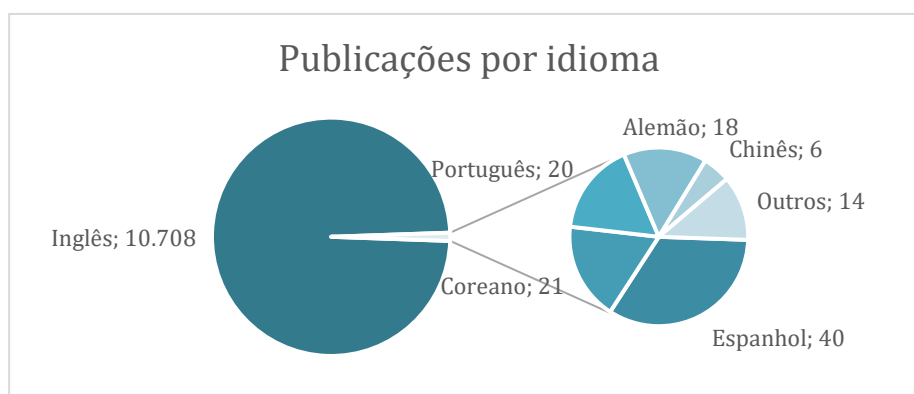
4. Resultados e Discussão

As discussões abaixo apresentam uma visão da análise bibliométrica, da análise dos tipos de artigos e das publicações do DOE no mercado financeiro.

4.1 Analise Bibliométrica - Web of Science

Na primeira busca, aplicando o marco temporal de 10 anos foram encontrados 10.827 registros, agrupados entre Artigos Científicos, Capítulos de livros, Papel de Procedimentos; Papel de dados; Publicação Retratada; Revisões de Livros; Cartas, Resumo de reuniões, entre outros. Numa visão geral, quase a totalidade corresponde a documentos no idioma inglês, demonstrando a relevância do idioma na comunidade científica internacional, Figura 3.

Figura 3. Relação de publicações por idioma.



Fonte: Os autores (2021).

Utilizando o segundo filtro, foi feita a exclusão de trabalhos não publicados denominados (acesso antecipado) e dos resultados parciais de publicações do ano de 2021, excluindo 266 registros, no entanto, ainda sobraram 10.561 trabalhos para análise, Figura 4.

Figura 4. Relação de Publicações por ano.

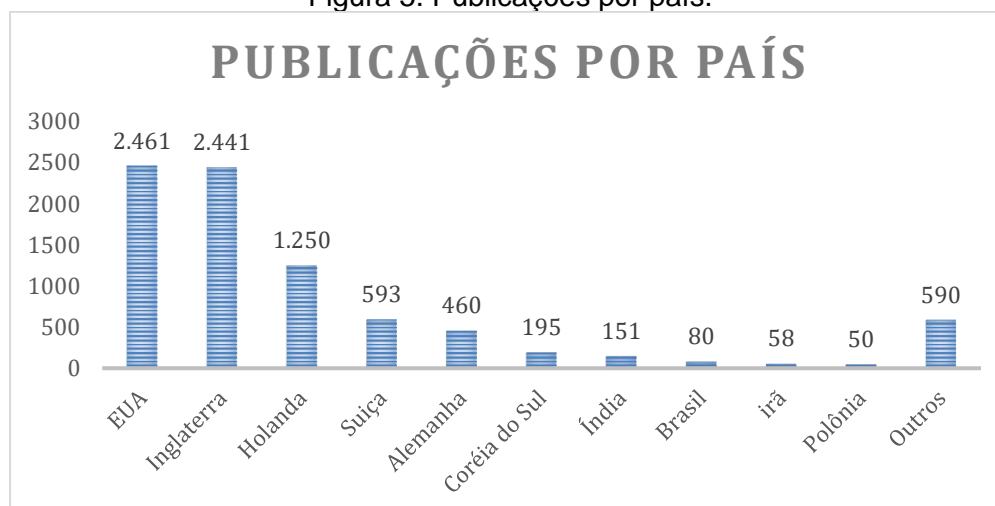


Fonte: Os autores (2021).

Observa-se um crescimento contínuo das publicações, ano após anos no assunto pesquisado sobre DOE e Mercado Financeiro.

No quesito publicações por país, nota-se que os que mais publicaram foram os EUA, seguido de Inglaterra, Holanda, Suíça e Alemanha. Outro fato interessante é que tratam-se de países desenvolvidos e de maior renda per capita, demonstrando que o cuidado com a área financeira está demandando uma atenção adicional dos pesquisadores nessas nações, Figura 5.

Figura 5. Publicações por país.



Fonte: Os autores (2021).

Verificando a aplicabilidade do DOE por área, foi possível a identificação de uma quantidade razoavelmente grande, permeando cerca de 192 áreas durante esse período. E das áreas que mais publicam se destacam a de Ciência de Materiais Multidisciplinar com 1.451 registros seguido por Engenharia Mecânica com 1.262 registros, Engenharia Química com 1.013 registros, Manufatura de Engenharia com 898 registros e Engenharia Elétrica Eletrônica

com 864. Essas áreas juntas corresponderam pelo total de 50% de todos os registros.

Quadro 2: Áreas com aplicabilidade do Design of Experiments.

Categorias da Web of Science	Contagem do registro	% de 10.827
Ciência de Materiais Multidisciplinar	1451	13%
Engenharia Mecânica	1262	12%
Engenharia Química	1013	9%
Manufatura de Engenharia	898	8%
Engenharia Elétrica Eletrônica	864	8%
Engenharia Multidisciplinar	662	6%
Farmácia Farmacologia	634	6%
Combustíveis Energéticos	620	6%
Química Analítica	506	5%
Física Aplicada	494	5%
Sistemas de controle de automação	463	4%
Química Multidisciplinar	460	4%
Aplicações interdisciplinares da ciência da computação	407	4%
Microbiologia Aplicada à Biotecnologia	405	4%
Engenharia Industrial	385	4%
Mecânica	373	3%
Ciência de Gestão de Pesquisa Operacional	362	3%
Química Física	357	3%
Metalurgia Engenharia Metalúrgica	333	3%
Probabilidade Estatística	328	3%
Ciências ambientais	324	3%
Métodos de Pesquisa Bioquímica	319	3%
Ciência de Polímeros	288	3%

Fonte: Os autores (2021).

Observou-se que dentre as 192 áreas, nenhuma corresponde diretamente a área financeira, demonstrando que a ferramenta de DOE é subutilizada nesse setor.

4.2 Análise dos Artigos - Título, Resumo e Palavras Chaves

Utilizando-se o terceiro filtro do processo metodológico foi possível fazer o enquadramento dos artigos tomando como base o título, suas palavras chaves e resumo e número de citações. De um total de 10,8 mil publicações, foi possível identificar 22 (vinte e dois) artigos promissores envolvendo mercado financeiro e DOE, Quadro 3.

Quadro 3: Seleção de artigos por área, título, palavras-chave, autores e citações.

Área	Título	Palavras Chaves	Autores	Nº de Citações
Management; Operations Research & Management Science	Financial Literacy, Financial Education, and Downstream Financial Behaviors	behavioral economics; household finance; consumer behavior; education systems; public policy; government programs; statistics; causal effects; design of experiments; meta-analysis; financial education; financial literacy	Daniel Fernandes; John G. Lynch; Richard G. Netemeyer	1558
Computer Science, Artificial Intelligence; Computer Science, Information Systems	An insight into the experimental design for credit risk and corporate bankruptcy prediction systems	Credit risk; Corporate bankruptcy; Experimental design; Data splitting; Performance metric; Statistical test	Vicente García; Ana I. Marqués & J. Salvador Sánchez	81
Economics; Management; Mathematics, Interdisciplinary Applications	Efficient Sampling and Meta-Modeling for Computational Economic Models	Computational economics; Exploration of agent-based models; Design of experiments; Meta-modeling	Isabelle Salle & Murat Yıldızoğlu	70

Statistics & Probability	On using the hypervolume indicator to compare Pareto fronts: Applications to multi-criteria optimal experimental design	Pareto front; Multi-objective optimization; Design of experiments; Point exchange	Yongtao Cao; Byran J.Smucker; Timothy J. Robinson	57
Economics; Engineering, Civil; Operations Research & Management Science; Transportation; Transportation Science & Technology	The value of lead time reduction and stabilization: A comparison between traditional and collaborative supply chains	Agent-based modelling and simulation; Lead time; Supply chain collaboration; Supply chain management; Taguchi design of experiments; Throughput accounting	Borja Ponte; José Costas; Julio Puche; Raúl Pino; David de la Fuente	45
Business, Finance	Kriging metamodels and experimental design for Bermudan option pricing	regression Monte Carlo (RMC); Gaussian process regression; sequential design; Bermudan option valuation; stochastic simulation	Michael Ludkovski	36
Computer Science, Artificial Intelligence	Design Of Experiments On Neural Network's Parameters Optimization For Time Series Forecasting In Stock Markets	Stock price prediction; back propagation neural network; design of experiment; financial ratios	Mu-Yen Chen;Min-Hsuan Fan;Young-Long Chen; Hui-Mei Wei	29
Economics	Portfolio optimization using Mixture Design of Experiments: Scheduling trades within electricity markets	Mixture Design of Experiments; Portfolio optimization; CVaR and electricity markets	Francisco Alexandre Oliveira; Anderson Paulode Paiva; José Wanderley Marangon Lima; Pedro Paulo Balestrassi; Ronã Rinston Amaury Mendes	28
Business, Finance	Recent developments in the experimental elicitation of time preference	Time preference; Discounted utility; Instantaneous utility; Choice list	Stephen L.Cheung	20
Business; Management	Integrating corporate social responsibility and financial performance	Design of Experiments; Corporate social responsibility; Financial performance; TOPSIS; Prospect Theory	Amelia Bilbao-Terol; Mar Arenas-Parra; Susana Alvarez-Otero; Verónica Cañal-Fernández	19
Economics	Financial risk information avoidance	Criteria for decision-making under risk and uncertainty; behavioural finance; behavioural microeconomics; design of experiments; information; uncertainty	Anna Blajer-Gołębiewska; Dagmara Wach; Maciej Kos	18
Management; Operations Research & Management Science	Marketing Optimization in Retail Banking	marketing optimization; retail banking; customer relationship management; mathematical programming; genetic algorithm; Markov chains; fuzzy mathematical programming	Ramasubramanian Sundararajan, Tarun Bhaskar, Abhinanda Sarkar, Sridhar Dasaratha, Debasis Bal, Jayanth K. Marasanapalle, Beata Zmudzka, Karolina Bak	16
Economics; Psychology, Multidisciplinary	Money illusion, financial literacy and numeracy: Experimental evidence	Behavioral sciences; Money illusion; Design of experiments; Behavioral finance; Financial literacy; Numeracy	Elisa Darriet; Marianne Gulle; Jean-Christophe Vergnaud; Mariko Shimizu	12
Management	The X-bar control chart with restriction of the capability indices	Statistical process control; Capability analysis; Estimated parameters; Simulation methods	Pedro Carlos Oprime; Glauco Henrique de Sousa Mendes	07
Statistics & Probability	Optimal statistical, economic and economic statistical designs of attribute np control charts using a full adaptive approach	Adaptive control charts; FA np control chart; Markov chain; statistical design; economic design; economic statistical design	Mehdi Katebi; M. Bameni Moghadam	06
Statistics & Probability	Estimating sensitivity indices based on Gaussian process metamodels with compactly supported correlation functions	Bayesian estimation; Computer experiments; Global sensitivity indices; Main-effect sensitivity indices; Process-based estimator; Quadrature-based estimator; Total sensitivity indices	Joshua Svenson; Thomas Santner; Angela Dean; Hyejung Moon	04
Engineering, Industrial; Engineering, Manufacturing	Integrating Financial Metrics with Production Simulation Models	P&Q; Discrete Event Simulation; Design of Experiments	Clive Acheson, David Mackle, Adrian Murphy, Joseph Butterfield, Peter Higgins, Rory Collins, Colm Higgins, J. Darlington, R. Tame	03
Mathematics; Statistics & Probability	Regular Fractions and Indicator Polynomials	Algebraic statistics; design of experiments; indicator polynomial; regular fractions; complex coding; Galois field coding	Giovanni Pistone and Maria Piera Rogantin	03

Computer Science, Information Systems; Computer Science, Theory & Methods	An Exploration of the Cultivation Mode of Innovation and Entrepreneurship Education with Modern Information Technology for Statistics Students	statistics; entrepreneurship education; cultivation mode	Yong LiHe; HuangXuexin; Zhou	02
Engineering, Multidisciplinary	Economic-statistical Design of NP Control Chart with Variable Sample Size and Sampling Interval	The Np Control Chart; Economic-statistical Design; Markov Chain; Design of Experiments; Variable Sampling Schemes	M. S Fallahnezhad M Shojaie-Navokh Y Zare-Mehrjerdi	02
Economics	Inducing risk preferences in economics experiments	experiments; risk; choice; learning	Ian M. Dobbs; Anthony D. Miller	01
Engineering, Industrial; Operations Research & Management Science	The Optimal Re-sampling Strategy for a Risk Assessment Model	Risk assessment; Re-sampling strategy; Imbalanced data; Design of Experiments; Dual Response Surface Methodology	L. I. Tong; W. Y. Wei; P. Y. Wu	00

Fonte: Os autores (2021).

Os autores que mais publicam sobre o DOE, dentre os artigos analisados são: Daniel Fernandes; John G. Lynch; Richard G. Netemeyer; Vicente García; Ana I. Marqués & J. Salvador Sánchez; Isabelle Salle & Murat Yıldızoğlu; Yongtao Cao; Byran J. Smucker; Timothy J. Robinson; Borja Ponte; José Costas; Julio Puche; Raúl Pino; David de la Fuente. E, dos vinte e dois artigos elencados no quadro 3, fez o último filtro com base na leitura do resumo, identificando os artigos que efetivamente utilizaram o Design of Experiments na área do mercado financeiro, sendo eles:

Quadro 4: Artigos selecionados mais relevantes sobre DOE e Mercado Financeiro.

01	Design Of Experiments On Neural Network's Parameters Optimization For Time Series Forecasting In	O modelo de rede neural artificial (RNA) tem sido usado há anos para conduzir pesquisas na previsão do preço das ações por três razões. Primeiro, ele tem uma taxa de precisão de predição mais alta na pesquisa empírica. Em segundo lugar, não está sujeito à suposição de ter amostras de uma distribuição normal. Terceiro, pode lidar com problemas não lineares. No entanto, a precisão da previsão depende das configurações dos parâmetros da rede neural, bem como da complexidade dos problemas e da arquitetura da rede neural; os resultados da análise podem ser ainda mais significativos com a seleção de parâmetros ideais e arquitetura de rede. Atualmente, como forma de estabelecer parâmetros, a maioria dos pesquisadores empregou o método de tentativa e erro. No entanto, este método é muito demorado e trabalhoso e pode não resultar nos parâmetros ideais. Portanto, esta pesquisa aproveitou uma rede neural de retropropagação (BPNN) para fins de otimização de parâmetros através da construção de um modelo de previsão de preços de ações, aplicando design de experimento (DOE) para sistematizar a programação de experimentos, e métodos de análise de efeitos principais e análise de interação. A pesquisa usou dois conjuntos de dados de índices financeiros de 50 empresas de primeira linha no mercado de ações de Taiwan e 40 bancos americanos listados na bolsa de valores de Nova York como amostras experimentais. Os resultados da pesquisa mostraram que a previsão de correlação, erro quadrático médio (RMSE) e tempo de computação, que podem efetivamente aumentar a precisão da previsão do preço das ações, são melhores do que os métodos estatísticos tradicionais e o modelo de rede neural convencional.
02	An insight into the experimental design for credit risk and corporate bankruptcy prediction systems	Nos últimos anos, tem sido observado um crescente interesse das comunidades financeiras e empresariais por qualquer ferramenta de aplicação relacionada à previsão de risco de crédito e falência, provavelmente devido à necessidade de sistemas de tomada de decisão mais robustos, capazes de gerenciar e analisar complexos dados. Como resultado, muitas técnicas foram desenvolvidas com o objetivo de produzir modelos de previsão precisos que são capazes de lidar com esses problemas. No entanto, o projeto de experimentos para avaliar e comparar esses modelos atraiu pouca atenção até agora, embora desempenhe um papel importante na validação e suporte das evidências teóricas de desempenho. O desenho experimental deve ser feito com cuidado para que os resultados sejam significativos; caso contrário, pode ser uma fonte potencial de conclusões enganosas e contraditórias sobre os benefícios de usar um determinado sistema de previsão. Neste trabalho, revisamos mais de 140 artigos publicados em revistas especializadas no período de 2000-2013, enfatizando as bases do projeto experimental em aplicações de pontuação de crédito e previsão de falências. Fornecemos algumas advertências e diretrizes para o uso de bancos de dados, métodos de divisão de dados, métricas de avaliação de desempenho e procedimentos de teste de hipóteses, a fim de convergir para um padrão de validação consistente e sistemático.

03	The Optimal Re-sampling Strategy for a Risk Assessment Model	O ambiente econômico global está mudando rapidamente. Consequentemente, os riscos financeiros de bancos ou instituições financeiras também são aumentados. Os bancos ou instituições financeiras costumam utilizar vários métodos de classificação para construir modelos de avaliação de risco para determinar se deve conceder empréstimos a uma empresa ou a um indivíduo. Frequentemente, verifica-se que os dados usados para construir um modelo de avaliação de risco são desequilibrados. Ou seja, o número de inadimplentes é significativamente menor do que o número de inadimplentes. Nesse caso, a maioria dos métodos de classificação não consegue construir um modelo de avaliação de risco preciso, uma vez que os métodos de classificação estão sujeitos aos dados desequilibrados. O método de tentativa e erro é frequentemente utilizado para equilibrar os tamanhos de amostra para classes padrão e não padrão. No entanto, o método de tentativa e erro é caro e a estratégia de amostragem determinada pelo método de tentativa e erro pode não classificar efetivamente os dados desequilibrados. Portanto, este estudo tem como objetivo desenvolver uma estratégia de reamostragem ideal usando design de experimentos (DOE) e metodologia de superfície de resposta dupla (DRS). O método proposto pode ser empregado para qualquer método de classificação para desenvolver um modelo de avaliação de risco. A eficácia do procedimento proposto é verificada usando um caso real de uma instituição financeira de Taiwan.
04	Marketing Optimization in Retail Banking	Neste artigo, abordamos o problema de fazer ofertas de produtos ideais para clientes de um banco de varejo usando técnicas que incluem cadeias de Markov, algoritmos genéticos, programação matemática e projeto de experimentos. Nossos desafios eram o grande tamanho do problema, a incerteza sobre as estimativas das respostas dos clientes às ofertas de produtos e questões práticas de treinamento e implementação. A solução teve um impacto financeiro estimado em cerca de US \$ 20 milhões; também forneceu outros benefícios intangíveis, incluindo tomada de decisão estruturada, a capacidade de realizar análises hipotéticas e portabilidade para outros mercados e carteiras.

Fonte: Os autores (2021).

Os artigos destacados no quadro 4 demonstram na prática a efetividade da aplicação do uso da ferramenta no mercado financeiro, demonstrando inúmeras possibilidades:

Artigo 01 (um): envolve a aplicação do DOE na previsão do mercado de ações.

Artigo 02 (dois): utiliza a ferramenta para construir uma base do projeto experimental para ser utilizado em aplicações de pontuação de crédito e previsão de falências no setor financeiro.

Artigo 03 (três): traz a preocupação dos riscos financeiros de bancos e instituições financeiras, utilizando o DOE para desenvolver um modelo de avaliação de risco.

Artigo 04 (quarto): usa várias técnicas, incluindo DOE, para ajudar na tomada de decisão estruturada de um banco de varejo, possibilitando a realização de análises hipotéticas e portabilidade para outros mercados e carteiras.

4.3 Percepção da aplicação do DOE no mercado financeiro

Percebe-se, através da análise dos temas abordados nas publicações objeto deste trabalho, que as técnicas de Planejamento de Experimentos têm sido amplamente usadas nos mais diversos segmentos da economia. No mercado financeiro, no entanto, é identificado um gap de conteúdo cuja análise e planejamento de experimentos seja a principal metodologia usada. Para quantificar essa lacuna de publicações, destaca-se que do universo de aproximadamente 10,8 mil publicações analisadas, pouco mais de vinte publicações, entre artigos e procedimentos técnicos, tiveram como objeto de estudo o DOE associado ao mercado financeiro, percentualmente totalizando 0,2% de todas publicações. Nesse conjunto de publicações relacionadas ao mercado financeiro, a Holanda apresenta uma posição de destaque como sendo

o país com mais publicações (8), a frente de países como EUA e Inglaterra, com 5 e 6 publicações, respectivamente. Outro ponto a ser destacado é como a aplicação do DOE é complementada com outras técnicas e processos como Simulações de Monte Carlo, processos Gaussianos, TOPSIS, cadeias markovianas, simulação estocástica e estimação bayesiana.

5. Considerações Finais

Por meio desta pesquisa pode-se ter um vislumbre da utilização da ferramenta de *Design of Experiments* no mercado financeiro que apesar do aumento no interesse pela comunidade financeira e empresarial, infelizmente ainda é pouco utilizada.

Com a execução desta pesquisa foi possível identificar um total de 192 áreas que estão aplicando a ferramenta e que os países que mais publicam estão situados no grupo de países denominados desenvolvidos, onde a educação financeira está mais enraizada na sociedade, contando com um mercado financeiro e de capitais bem desenvolvido. Identificou-se também que o idioma predominante dos artigos publicados é o inglês, seguido por espanhol.

Dos autores que mais se destacaram foram Daniel Fernandes; John G. Lynch; Richard G. Netemeyer; Vicente García; Ana I. Marqués & J. Salvador Sánchez; Isabelle Salle & Murat Yıldızoğlu; Yongtao Cao; Byran J. Smucker; Timothy J. Robinson; Borja Ponte; José Costas; Julio Puche; Raúl Pino; David de la Fuente.

Como trabalho futuro, fica como desafio fazer uma busca utilizando os mesmos critérios em outras bases de dados, além de uma entrevista com especialista em DOE com foco a elencar as inúmeras possibilidades que esta ferramenta pode trazer de benefício para o mercado financeiro.

Por fim, espera-se que este trabalho possa ajudar a engajar os profissionais do mercado financeiro a cada vez mais utilizar o DOE na identificação de probabilidades, na solução de problemas, na análise de riscos e para tomada de decisão.

Referências

CALICCHIO, S. Forex de uma forma simples: O guia para a introdução do mercado Forex e estratégias comerciais mais eficazes no sector cambial. [s.l.]: [s.n.], 2020.

CORDEIRO, Alexander Magno et al. *Revisão sistemática: uma revisão narrativa*. Rev. Col. Bras. Cir, v. 34, n. 6, p. 428-431, 2007.

COOK, Deborah J.; MULROW, Cynthia D.; HAYNES, R. Brian. *Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions*. Annals of internal medicine, v. 126, n. 5, p. 376-380, 1997.

DONATO, Helena; DONATO, Mariana. *Stages for Undertaking a Systematic Review*. Acta Médica Portuguesa, [S.l.], v. 32, n. 3, p. 227-235, mar. 2019. ISSN 1646-0758. Disponível em:

<<https://www.actamedicaportuguesa.com/revista/index.php/amp/article/view/11923>>. Acesso em: 26 ago. 2021. doi:<http://dx.doi.org/10.20344/amp.11923>.

DURAKOVIC, Benjamin. *Design of Experiments Application, Concepts, Examples: State of the Art*. Periodicals of Engineering and Natural Sciences. International University of Sarajevo. Vol 5, n.3 pp. 421-439, 2018. ISSN 2303-4521. Disponível em: <http://pen.ius.edu.ba/index.php/pen/article/viewFile/145/175>. Acesso em: 27 ago. 2021.

GAMEIRO, M. *Forex Market: Tudo que você precisa saber começar a ganhar dinheiro*. [s.l.]: [s.n.], 2004.

GARCIA, F, L., et al. Mapeamento bibliométrico da produção científica acerca da performance ambiental da manufatura aditiva. 2017. Anais do XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Enegep. Disponível em: 10.14488/ENEGETP2017_TN_STP_248_434_33894. Acesso em: 17 set. 2021.

HUAI RUI GUO, Ph. D. & ADAMANTIOS METTAS. *Design of Experiments and Data Analysis*. Annual Reliability and Maintainability Symposium. 2012. Disponível em: https://www.weibull.com/pubs/2012_RAMSDesign_of_experiments_and_data_analysis.pdf. Acesso em: 27 ago. 2021.

LE MOS, F. *Análise Técnica dos Mercados Financeiros: Um guia completo e definitivo dos métodos de negociação de ativos*. 1. Ed. São Paulo: Saraiva, 2015.

MONTGOMERY, Douglas C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PILKINGTON, Alan; MEREDITH, Jack. *The evolution of the intellectual structure of operations management – 1980-2006: a citation/co-citation analysis*. Journal of Operations Management, v. 27, p. 185-202, jun. 2009.

SIDDAWAY AP, Wood AM, Hedges LV. *How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses*. Annu Rev Psychol. 2019;70:747- 70.

TELFORD, Jacqueline, k. *A Brief Introduction to Design of Experiments*. Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 27, Number 3. 2007. Disponível em: <https://www.jhuapl.edu/Content/techdigest/pdf/V27-N03/27-03-Telford.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2021.

WHITFORD, William G.; LUNDGREN, Mats; FAIRBANK, Alain. *Cell Culture Media in Bioprocessing*. In: Biopharmaceutical Processing. Elsevier, 2018. p. 147-162. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100623-8.00008-6>. Acesso em: 27 ago. 2021.