



Grupo de Análise, Modelagem e Otimização de Sistemas
Centro Acadêmico do Agreste
Universidade Federal de Pernambuco

Relatório do Projeto de Pesquisa

Estudo de Métodos de Previsão de Demanda e Proposição de
Metodologia Combinada no Contexto das Micro e Pequenas
Empresas do Agreste Pernambucano

Proponente

Tatiana Balbi Fraga

Caruaru

02/05/2024

Participantes do projeto :

Profa. Dra. Tatiana Balbi Fraga (Núcleo de Tecnologia - CAA/UFPE)

Profa. Dra. Regilda da Costa e Silva Menêzes (Núcleo de Gestão - CAA/UFPE)

Alexia Maria Duque Silva (Graduação em Eng. de Produção no CAA - UFPE)

Beatriz Marinho Cavacanti (Graduação em Eng. de Produção no CAA - UFPE)

Erika Leticia Rodrigues Silva (Graduação em Eng. de Produção no CAA - UFPE)

Jeová Ribeiro Falcão Filho (Graduação em Administração no CAA - UFPE)

Resumo

O presente projeto tem como propósito a elaboração de uma metodologia de previsão de demanda combinada, adequada às micro e pequenas empresas do Agreste Pernambucano. Para tanto, dentre as atividades planejadas, destaca-se um estudo de portfólio para os produtos produzidos e comercializados por essas empresas. Tal estudo terá duas finalidades principais: em um momento inicial, compreensão da tipologia dos históricos de venda e da natureza dos produtos; e, nas fases finais do projeto, planejamento estratégico de vendas. Outro importante estudo a ser realizado será sobre as diversas metodologias de previsão de demanda, buscando identificar aquelas que apresentam as melhores performances e/ou resultados significativos para o portfólio inicial elaborado. Junto com este, será realizado um novo estudo sobre a combinação das metodologias identificadas, buscando propor um método combinado robusto de previsão de demanda a ser utilizado pelas empresas em foco nesse projeto.

1. Introdução

Através de diversos trabalhos direcionados a empresas de micro e pequeno porte (MPE) situadas no Agreste Pernambucano, foi possível identificar que tais empresas não utilizam nenhuma metodologia (exceto empírica) ou software para previsão de demanda. Existe um grande mercado de empresas que oferecem softwares e assessorias para tal finalidade. Como exemplo podemos citar: a Linear Software Matemáticos e a Demand Solutions entre várias outras empresas. Contudo, em grande parte, as MPEs não têm acesso a tais recursos, hora pela falta de conhecimento e hora devido a não dispor do investimento necessário. Adicionalmente os softwares de previsão de demanda oferecidos geralmente utilizam as metodologias tradicionais de séries históricas, tais como Regressão Linear, Média Móvel e o Modelo de Holt-Winter, que usam apenas as informações dos dados históricos para a previsão do comportamento futuro. Nesse caso, o grau de acuracidade das previsões irá depender de suposições, especificações corretas dos modelos e dos ajustes corretos dos parâmetros, sendo que nem sempre os históricos de dados refletem de forma correta comportamentos futuros. Isso, aliado à questão de que normalmente as empresas de micro e pequeno porte não dispõem de mão de obra qualificada pra essa finalidade, acaba comprometendo de forma significativa a acuracidade das previsões.

De acordo com a literatura tradicional, os métodos de previsão de demanda são classificados entre métodos qualitativos e métodos quantitativos. Os métodos qualitativos utilizam o julgamento e o conhecimento tácito como base para o estabelecimento de generalizações e extrapolações que permitirão transformar conhecimento e intuições em previsões de tendências futuras. Entre as técnicas qualitativas destacam-se o método Delphi e a Análise de Cenários. O método Delphi estrutura o uso do conhecimento e da experiência de um grupo de especialistas para que estes possam utilizar o julgamento intuitivo a fim de chegar ao consenso sobre previsões e tendências específicas. Já na Análise de Cenários são considerados diferentes cenários para as previsões futuras com base em possíveis suposições. Nesse caso a decisão é tomada considerando os resultados e o risco de ocorrência dos diferentes cenários (Wanke and Julianelli, 2006).

Os métodos quantitativos buscam nos dados históricos informações que permitam

prever a demanda futura. Estes métodos são divididos entre Métodos Causais e Séries Temporais. Os Métodos Causais buscam explicar as causas que influenciam a demanda. Através destes métodos são identificadas as variáveis que influenciam o comportamento da demanda assim como a correlação entre estas variáveis e, com base nessas identificações, são criadas relações matemáticas que serão utilizadas para as previsões do comportamento futuro da demanda. Entre os Métodos Causais mais conhecidos estão as Regressões Lineares Simples (com uma única variável independente) e as Regressões Lineares Múltiplas (com duas ou mais variáveis independentes). As Séries Temporais estão entre os métodos de previsão de demanda mais aplicados e conhecidos. Estes métodos tratam da identificação de padrões nos dados históricos (tais como tendência, sazonalidade, ciclo e aleatoriedade) que possam ser reproduzidos para a previsão de comportamentos futuros. Entre as Séries Temporais mais conhecidas estão: as técnicas baseadas em médias (Média Simples, Média Móvel Simples, Média Móvel Dupla); as técnicas de amortecimento exponencial (Amortecimento Exponencial Simples, Método de Brown, Método de Holt, e Método de Winter); e as técnicas de séries temporais em modelo aberto (Análise de Decomposição, Análise Espectral, Análise de Fourier e ARIMA) (Wanke and Julianelli, 2006).

De acordo com Rubio et al. (2011) dentre os métodos de análise de séries temporais baseados em modelos estatísticos, o método ARIMA (Média Móvel Integrada Autorregressiva) merece destaque. Os autores esclarecem que este método tem sido amplamente utilizado na literatura já que cobre uma ampla variedade de padrões, variando de séries estacionárias a não estacionárias e sazonais (cíclicas). Os autores também informam que, quando se tratando de dados não lineares, duas das principais técnicas de previsão utilizadas são Indução de Regras e Redes Neurais. As metodologias baseadas em Indução de Regras identificam padrões nos dados estudados expressando estes padrões na forma de regras. São exemplo desta classe de técnicas os Sistemas Inteligentes e os Sistemas Fuzzy. Já as metodologias baseadas em Redes Neurais são entendidas como técnicas de aproximações universais. Isto porque estas técnicas conseguem reproduzir padrões através de simples técnicas de correlação. Como exemplo de técnicas baseadas em Redes Neurais temos as Funções de Base Radial, e os diversos métodos com uma ou com multicamadas de perceptrons.

Apesar dos direcionamentos de Wanke and Julianelli (2006), Rubio et al. (2011) e de vários outros autores, encontrar a metodologia adequada para previsão de demanda pode se tornar uma árdua tarefa. A literatura contemporânea apresenta diversos trabalhos nos quais variadas metodologias são testadas buscando previsões de demanda mais acuradas para casos reais e a variedade de aplicações é surpreendente. Como exemplo, podemos citar o trabalho de Tanizaki et al. (2019) que testam a aplicação de aproximações baseadas em aprendizagem de máquina e

em análise estatística para previsão de demanda em restaurantes. Os autores analisam a utilização dos métodos Regressão Linear Bayesiana, Regressão por Árvore de Decisão Impulsionada e Regressão por Floresta de Decisão para aprendizado de máquina, e do método *stepwise* para a análise estatística. Merkuryeva et al. (2019) comparam os métodos de Média Movel Simples, Regressão Múltipla e Regressão Simbólica com Algoritmos Genéticos para previsão de demanda na cadeia de suprimentos farmacêutica, demonstrando a superioridade do último método. Já Maqsood et al. (2019) testam algoritmos baseados em Regressão Linear, Regressão de Vetores de Suporte e Aprendizado Profundo para a previsão da bolsa de valores. É importante ressaltar que, conforme citado por Andrawis et al. (2011), é um fato conhecido que a combinação de vários métodos de previsão tende a gerar resultados dramaticamente melhores. De acordo com Atiya (2019), a motivação por trás da combinação dos métodos de previsão é o fato de que os problemas de previsão geralmente possuem poucos ou limitados dados históricos. Assim, para o autor, do ponto de vista prático, não é possível obter a especificação correta do processo de geração de dados subjacentes. Se torna benéfico portanto proteger contra a imprecisão resultante do modelo de previsão derivado, considerando vários modelos de previsão e combinando suas previsões. Contudo, vale ainda ressaltar que, conforme observado por Andrawis et al. (2011), o método de previsão combinado herda as performances de seus métodos constituintes e, portanto, é essencial que as diferentes metodologias sejam testadas e que sejam escolhidas aquelas que apresentam os melhores resultados.

Com base nesse contexto, o presente projeto visa um estudo aprofundado sobre as diversas metodologias de previsão de demanda, buscando identificar as mais adequadas às empresas de micro e pequeno porte estudadas e propor uma nova metodologia combinada que atenda de forma satisfatória à necessidade de previsão de demanda para os principais produtos e segmentos identificados, reduzindo a necessidade de interferência direta do funcionário responsável pela previsão e a consequente debilidade que tal interferência pode causar nos resultados.

2. Justificativas

Esse projeto se justifica tanto no contexto científico como no contexto econômico. Se tratando do primeiro contexto, esse projeto busca importantes contribuições científicas tais como:

- a) análises de portfólio aplicadas ao estudo de agrupamentos de produtos para vinculação à técnicas específicas de previsão;
- b) levantamento bibliográfico e taxonomia sobre métodos tradicionais e contemporâneos de previsão de demanda;
- c) estudo sobre a aplicação de distintas técnicas de previsão aos grupos do portfólio elaborado;
- d) estudo sobre combinação de metodologias e elaboração de metodologia combinada adequada ao quadro estudado;
- e) e, análise de portfólio para definição de estratégia de planejamento de demanda.

Sendo que cada uma dessas possibilidades de contribuição trata de potenciais inovações científicas e poderá, portanto, gerar uma ou mais publicações relevantes.

No contexto econômico, esse projeto apresenta uma grande relevância, tendo em vista que busca tratar um problema que tem importância prática para as empresas. Afinal, todo planejamento deve partir de previsões, e a qualidade dos planejamentos está diretamente vinculada à qualidade das previsões. Empresas planejadas são mais eficientes e, por essa razão, a definição de uma metodologia adequada pode influir diretamente na economia local.

Vale ainda ressaltar que este projeto estará aprofundando o conhecimento de toda a equipe sobre o tema tratado gerando uma capacitação dos envolvidos, e podendo influir direta ou indiretamente na qualidade da formação dos alunos.

3. Objetivos

3.1 Objetivo Geral

Este projeto tem como propósito, a identificação (ou elaboração) de metodologia de previsão combinada que seja adequada às micro e pequenas empresas do Agreste Pernambucano.

3.2 Objetivos Específicos

O objetivo geral especificado deverá ser atingido através dos seguintes objetivos específicos:

- Estudo sobre as diversas metodologias de previsão de demanda apresentadas na literatura;
- Classificação das distintas metodologias de acordo com a sua natureza e aplicação;
- Identificação dos pontos fracos e fortes de cada grupo;
- Análise de portfólio dos produtos para os principais setores da região;
- Escolha das metodologias com potencial para adequação aos grupos do portfólio identificado;
- Estudo computacional sobre a aplicação dessas metodologias escolhidas para estes mesmos grupos;
- Identificação de como as diversas metodologias escolhidas se complementam e sobre a possibilidade de combinação (ou hibridização) destas metodologias;
- Elaboração de metodologia combinada adequada ao portfólio identificado;
- Análise de portfólio para planejamento estratégico de demanda;

- Teste em empresas dos setores estudados e validação da metodologia proposta.

4. Metodologia

O projeto foi planejado para ser desenvolvido através das seguintes atividades:

1. Levantamento bibliográfico para identificação das metodologias de análise de portfólio e de previsão de demanda apresentadas na literatura; estudo das metodologias; taxonomia e outras classificações; identificação de aplicações, e de pontos fortes e fracos para as distintas metodologias;
2. Estudo de portfólio de produtos para algumas empresas escolhidas; categorização e classificação dos produtos;
3. Levantamento de dados (dados históricos, informações que explicam comportamento de vendas e outras informações pertinentes);
4. Escolha de um conjunto de metodologias de acordo com aplicação e resultados apresentados na literatura; elaboração de programas computacionais para análise das metodologias escolhidas; testes e validações;
5. Análise de combinação, elaboração de nova metodologia combinada, conforme justificado na introdução deste projeto;
6. Teste da nova metodologia desenvolvida;
7. Estudo de portfólio para planejamento estratégico de vendas;
8. Elaboração de artigos científicos e relatórios;
9. Elaboração do livro de previsão de demanda avançada.

Tendo em vista que os métodos aplicados na previsão de demanda caminham entre as distintas áreas de conhecimento dos integrantes da equipe (análise de portfólio, métodos causais, métodos probabilísticos, métodos estocásticos, modelagem matemática e computacional, heurísticas, inteligência artificial, programação dinâmica, etc.), em nosso planejamento inicial, todo o trabalho de levantamento bibliográfico, estudo dos métodos, desenvolvimento de programas computacionais,

testes e elaboração de relatórios e publicações foi planejado para ser distribuído entre os membros da equipe. É importante aqui ressaltar que o trabalho realizado pelos professores será horizontal (com participações compartilhadas e caminhando entre as diversas áreas de conhecimento apresentadas a seguir), contudo cada professor terá responsabilidade e principal atuação dentro de sua área específica. É claro que essa distribuição planejada poderá ser modificada ao longo do projeto.

5. Atividades propostas vs metas atingidas

Durante a realização deste projeto, nós enfrentamos uma série de contratempos de forma que o projeto acabou por tomar um rumo diferente do que foi planejado. Em especial, devido à grande quantidade e variedade de produtos comercializados e produzidos pelas empresas estudadas, identificamos a necessidade de iniciar o projeto com a clusterização dos produtos e com a identificação dos padrões de demanda dos produtos para a construção de um portfólio de produtos inicial. Com base nesta identificação acabamos por desenvolver uma nova metodologia de classificação ABC multicritério com Processo de Hierarquia Analítica que provou ser uma importante contribuição científica. Ademais esperamos ainda propor um novo modelo de portfólio baseado em métodos de identificação de padrões de demanda (ainda em andamento). Esta seção do relatório apresenta um detalhamento para as atividades planejadas, identificando o que já foi realizado e o que ainda precisa ser feito para elaboração da metodologia de previsão combinada proposta neste projeto.

5.1 Atividade proposta 1:

Levantamento bibliográfico para identificação das metodologias de análise de portfólio e de previsão de demanda apresentadas na literatura; estudo das metodologias; taxonomia e outras classificações; identificação de aplicações, e de pontos fortes e fracos para as distintas metodologias;

Status: em andamento

O que foi feito:

Foi feito um extenso estudo sobre os seguintes pontos:

1. Classificação ABC;

2. Classificação ABC Multicritério;
3. Processo de Hierarquia Analítica;
4. Identificação de Padrões de Demanda, com enfoque para o Método de Willians;
5. Métodos de previsão de demanda com enfoque para:
 - * Previsão de demanda intermitente através dos métodos de Croston e Syntetos-Boylan Approximation (SBA);
 - * Comparação dos modelos tradicionais com os modelos de aprendizagem de máquina: Árvore de decisão e Floresta Aleatória na previsão de demanda.

Uma síntese do material estudado é apresentada na revisão bibliográfica deste relatório e no livro em elaboração disponível em:

[tbfraga.github.io/books/engineering/\(2019\)_Fraga.pdf](https://tbfraga.github.io/books/engineering/(2019)_Fraga.pdf)

O que falta fazer:

Para continuidade deste projeto é ainda necessário levantamento bibliográfico, leitura e compreensão dos seguintes assuntos:

- outros métodos de identificação de padrões de demanda;
- diversos métodos de previsão de demanda;
- análise de portfólios;
- e sobre ferramentas utilizadas para realização deste projeto.

5.2 Atividade proposta 2:

Estudo de portfólio de produtos para algumas empresas escolhidas; categorização e classificação dos produtos;

Status: em andamento

O que foi feito:

Estamos aplicando métodos de identificação de padrão de demanda para iniciar a construção do portfólio.

Inicialmente estamos aplicando o método de Willians.

O que falta fazer:

Existe a intenção de aplicar outros métodos para identificação dos padrões de demanda. Após aplicação das diferentes metodologias será também necessário construir os modelos de portfólios assim como a categorização e classificação dos produtos.

5.3 Atividade proposta 3:

Levantamento de dados (dados históricos, informações que explicam comportamento de vendas e outras informações pertinentes);

Status: em andamento

O que foi feito: Foram coletados dados de quatro empresas de quatro diferentes setores: oficina mecânica; moto peças; comércio de móveis; e manufatura de sacolas plásticas.

Estamos disponibilizando os dados coletados pelo site:

<https://tbfraga.github.io/COPSolver/benchmarks>

O que falta fazer:

Se for possível, ainda temos a intenção de coletar novos dados das mesmas empresas e dados de outras empresas, de acordo com necessidades definidas pelas metodologias que foram e estão sendo desenvolvidas e aplicadas.

5.4 Atividade proposta 4:

Escolha de um conjunto de metodologias de acordo com aplicação e resultados apresentados na literatura; elaboração de programas computacionais para análise das metodologias escolhidas; testes e validações;

Status: em andamento

O que foi feito:

Foram aplicados métodos preditivos tradicionais e aqueles que utilizam aprendizagem de máquinas buscando prever e avaliar como diferentes modelos se comportam quando aplicados na análise de previsão de demanda. Para a aplicação destes métodos, foram considerados os dados históricos de uma empresa do setor de moto peças situada em Caruaru-PE.

A ideia inicial deste projeto consistia em usar o método de redes neurais junto com métodos tradicionais de previsão de demanda. A proposta original que foi construída com base em um longo período de estudo e demasiado esforço, era exatamente a de usar redes neurais para tratar as sobras. Iríamos trabalhar com o problema de forma dinâmica e realizar estudos de correlação, verificando também a possibilidade de usar dados probabilísticos e tratamento numérico.

A proposta de solução apresentada no projeto consiste em importante contribuição científica e é claro, trata-se de inovação e propriedade intelectual. Contudo, através de anúncio no próprio e-mail da universidade, verificamos que nossas idéias foram desenvolvidas e publicadas por outros professores e alunos da UFPE e de outras universidades. O que nos chocou fortemente.

Ainda, após desistência de vários membros da equipe devido à sérios problemas pessoais e à outros compromissos, a continuidade da proposta inicial se tornou inviável.

O que falta fazer:

Apesar dos pesares, ainda há espaço para novas e importantes contribuições científicas no escopo deste projeto, inclusive se tratando do setor estudado. Pretendemos agora desenvolver metodologia combinada que incorpore informações qualitativas, assim como a própria aplicação dos métodos de identificação de padrões de demanda.

A utilização de redes Bayesinas para previsão de demanda também está em construção para sua aplicação juntamente com outros modelos. Uma das dificuldades encontrada é justamente a falta de dados empíricos para alimentar a rede. Apesar de Redes Bayesianas permitirem o uso da opinião de especialistas, existem protocolos para educação do conhecimento de forma adequada, os quais requerem um maior tempo para elaboração e aplicação. Portanto, pretendemos dar este passo na pesquisa e utilizar redes Bayesianas para previsão de vendas, pois este

modelo difere de modelos tradicionais de regressão porque, além de utilizarem um número maior de variáveis, identificam as variáveis que possuem relação direta ou indireta com a variável dependente, dispensam suposições restritivas sobre as suas distribuições de probabilidade subjacentes e permitem a agregação de dados.

5.5 Atividade proposta 5:

Análise de combinação, elaboração de nova metodologia combinada, conforme justificado na introdução deste projeto;

Status: não iniciada.

Justificativa: Esta etapa depende de outras etapas anteriores que ainda não foram concluídas.

5.6 Atividade proposta 6:

Teste de novas metodologias desenvolvidas;

Status: em andamento

O que foi feito:

Elaboramos uma nova abordagem metodologica para Classificação ABC Multicritério com Processo de Hierarquia Analítica que inclui um procedimento para forçar a consistência de matrizes de comparações por pares, assim como um procedimento para atribuição de pesos para os produtos avaliados de acordo com critérios qualitativos e uma nova equação para cálculo dos pesos dos produtos na classificação multicritério.

Essa abordagem foi testada apresentando resultados muito consistentes de acordo com avaliação dos responsáveis pelas empresas estudadas.

O que falta fazer:

Teste das novas metodologias que ainda serão desenvolvidas.

5.7 Atividade proposta 7:

Estudo de portfólio para planejamento estratégico de vendas;

Status: não iniciada.

Justificativa: Esta etapa depende de outras etapas anteriores que ainda não foram concluídas.

5.8 Atividade proposta 8:

Elaboração de artigos científicos e relatórios.

Status: em andamento

O que foi feito:

Além deste relatório, elaboramos um artigo científico apresentando a nova abordagem metodológica citada na seção 5.6:

- A new effective ABC Multicriteria Classification with Analytical Hierarchy Process: how to attribute weights and force consistency of pairwise comparisons matrix.

Este artigo foi aprovado e será apresentado no CONEM 2024. Está em fase de avaliação final.

Incluimos a versão atual do artigo como anexo deste relatório.

Também publicamos dois artigos no Boletim do Observatório Econômico – Corecon (Edição 05/maio 2021):

- Previsão de Demanda como Ferramenta Estratégica para um Planejamento Econômico: Análise da Aplicação Considerando os Impactos do Covid-19 no Setor de Alimentos e Bebidas do Agreste Pernambucano;
- e Controle de Estoque para uma Gestão Estratégica e Econômica: Análise da Aplicação no Setor de Alimentos e Bebidas do Agreste Pernambucano.

O que falta fazer:

Temos a intenção de dar continuidade ao projeto, portanto esperamos produzir novas publicações e pelo menos mais um relatório.

5.9 Atividade proposta 9:

Elaboração do livro de previsão de demanda avançada.

Status: em andamento

O que foi feito:

O livro **Gestão de Demanda e Controle de Estoques** está sendo escrito de acordo com o andamento deste projeto.

O livro já conta com com carga conceitual relevante que está sendo utilizada, entre outras finalidades, para orientação de alunos em projetos de graduação tais como PIBIC e TCC.

Atualmente o livro apresenta:

1. uma seção sobre classificação de itens de inventário, incluindo explicações sobre o método de classificação ABC e ABC multicritério além de uma importante explicação bem detalhada sobre o Processo de Hierarquia Analítica (AHP);
2. uma seção sobre identificação de padrões de demanda incluindo uma importante explicação bem detalhada sobre o método de Williams;
3. uma seção com uma abordagem inicial sobre métodos de previsão de demanda.

O livro está sendo desenvolvido nos formatos do modelo de *ciência e inovação aberta* e todas as atualizações são imediatamente disponibilizadas no [github.com](https://github.com/tbfraga). Versões atualizadas do livro podem ser consultadas no modo on-line pelo site [tbfraga.github.io/books/engineering/\(2019\)_Fraga.pdf](https://tbfraga.github.io/books/engineering/(2019)_Fraga.pdf).

O que falta fazer:

Continuaremos o livro de acordo com o material bibliográfico estudado e utilizado para realização deste projeto. Mais especificamente é esperado que o livro apresente explicações detalhadas sobre: a) outros métodos de identificação de padrões de demanda; b) diversos métodos de previsão de demanda; e c) estudo de portfólios.

Também foi elaborado um capítulo para publicação no livro intitulado “Economia do agreste pernambucano”. O capítulo tem como título: Previsão de demanda como ferramenta estratégica para um planejamento econômico: análise da aplicação considerando os impactos do Covid-19 no setor de alimentos e bebidas do agreste pernambucano. Atualmente o livro encontra-se na fila de espera para início do processo de revisão por amostragem. A previsão para publicação será no segundo semestre deste ano.

6. Contribuições planejadas

6.1 Estudo de Portifólio - Profa. Tatiana

De acordo com Lahtinen et al. (2017), um portfólio representa um conjunto de ações, cujos efeitos combinados resultam no atingimento de um objetivo desejado. Para criação de um portfólio é necessário considerar objetivos múltiplos e restrições, identificando ações candidatas promissoras e examinando a interação entre estas.

O planejamento de demanda muitas vezes lida com decisões onde um portfólio deve ser formado buscando o efetivo tratamento da situação geral em questão. No presente projeto, o estudo de portfólios será aplicado em dois momentos. Inicialmente para agrupamento de produtos de acordo com as principais características a serem consideradas no processo de previsão. Esse agrupamento será base para posterior estudo sobre as metodologias adequadas a cada grupo e comparação destas. Em um segundo momento, o estudo de portfólios será desenvolvido como base para o planejamento estratégico de demanda.

6.2 Modelagem matemática e computacional - Prof. Abdeladhim Tahimi

De forma generalizada podemos afirmar que modelagem se trata do processo de resolução de um problema físico através de uma simplificação apropriada da realidade. Na engenharia, a modelagem é dividida em duas partes principais: modelagem empírica e modelagem analítica. Testes de laboratório e modelo *in situ* são exemplos de modelagem empírica, a partir da qual engenheiros e cientistas obtêm informações úteis para desenvolver algoritmos empíricos ou semi-empíricos para aplicação tangível. A modelagem analítica geralmente consiste em quatro passos. O primeiro passo é a construção de um modelo matemático para os problemas físicos correspondentes, com suposições apropriadas. Este modelo pode assumir a forma de equações diferenciais ou algébricas. Na maioria dos

casos de engenharia, esses modelos matemáticos não podem ser resolvidos analiticamente, exigindo uma solução numérica. O segundo passo é o desenvolvimento de um modelo numérico apropriado ou aproximação ao modelo matemático. O modelo numérico geralmente precisa ser cuidadosamente calibrado e validado com relação a dados e resultados analíticos preexistentes. A análise de erros do modelo numérico também é necessária nesta etapa. O terceiro passo da modelagem teórica é a implementação real do modelo numérico para obter soluções. O quarto passo é a interpretação dos resultados numéricos em gráficos, tabelas, ou outras formas convenientes, para apoiar o projeto e a operação de engenharia (https://www.dphu.org/uploads/attachements/books/books_2563_0.pdf).

Na previsão de demanda, a modelagem matemática trata da elaboração de funções que informam como o potencial de vendas varia em torno da variável tempo, $V(t)$. Normalmente, a abordagem mais utilizada para a representação dessas funções é a abordagem recursiva, $V(t + 1) = f(t, V(t))$. Como exemplo, podemos citar a amplamente conhecida técnica de amortecimento exponencial simples, aplicada pela fórmula:

$$V_{t+1} = \alpha R_t + \alpha(1 - \alpha)V_t \quad (6.1)$$

onde V_{t+1} representa a previsão para o próximo período, α o coeficiente de amortecimento ($0 < \alpha < 1$), e R_t e V_t , respectivamente, o valor observado e a previsão referentes ao período t .

Contudo, também é possível a utilização de abordagem diferencial:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = F(t, x_1, \dots, x_n) \quad (6.2)$$

onde x_1, \dots, x_n são variáveis independentes ou funções de t .

Dentro do escopo do nosso projeto, a temática abordada nessa seção estará tratando tanto do estudo sobre os modelos e técnicas de solução existentes como sobre a possibilidade da construção de novas proposições.

6.3 Simulação de Monte Carlos e outros Métodos Estocásticos - Prof. Marcos

Existem vários modelos de simulação. A simulação por Monte Carlos é uma técnica que utiliza a geração números aleatórios para atribuir às variáveis do sistema que se deseja investigar. Para isso é necessário conhecer o comportamento da distribuição

de probabilidade da variável. Pretendemos investigar nos modelos de previsão de demanda para produtos se o Método Monte Carlos é uma técnica eficiente, observando as variações entre demanda real e a projetada. Em geral utilizamos a função de distribuição acumulada $F(x)$ da distribuição de probabilidade da variável aleatória e geramos números aleatórios entre 0 e 1 e $x = F^{-1}$ (aleatório). A complexidade é identificar em cada caso qual o comportamento probabilístico da variável relevante para o estudo. Uma forma comum para determinar a distribuição de probabilidade de uma variável é através da análise de dados históricos.

6.4 Redes Bayesianas e Análise Estatística - Profa. Regilda

De uma maneira geral, pode-se entender uma rede Bayesiana tanto como um documento gráfico de fácil interpretação sobre as causalidades inerentes ao problema, quanto como uma estrutura de dados eficiente, uma vez que utiliza probabilidades condicionais Firmino (2004).

Uma Rede Bayesiana permite traduzir matematicamente a causalidade existente entre as variáveis de um problema (análise quantitativa), e também possibilita uma representação gráfica das relações de dependência (análise qualitativa). É importante ressaltar que essas redes possuem um caráter evolucionário e, portanto, podem ser utilizadas tanto no cálculo de probabilidades quanto em suas estruturas gráficas das seguintes formas: com base em novas evidências; com uma base de dados mais atualizados; com um maior número de observações; com novas descobertas teóricas; ou ainda com a ampliação do conhecimento do especialista k. B. Korb and Nicholson (2003). Correia (2006) destaca que, devido a sua fundamentação, redes Bayesianas permitem tanto a utilização de fontes de informação de natureza subjetiva, através da opinião do especialista, quanto de natureza empírica, por meio de base de dados. Tudo isso, sem perder o rigor matemático no cálculo das probabilidades.

A utilização de redes Bayesianas para previsão de demanda permite um melhor entendimento entre as relações causais das variáveis envolvidas no modelo, possibilitando capturar as relações de interdependências existentes entre variáveis causais, que é uma grande vantagem da modelagem através de redes Bayesianas quando comparada a maioria dos modelos tradicionais, como por exemplo, nos modelos clássicos de regressão, onde as variáveis explicativas são consideradas independentes. Além disso, outras vantagens também podem ser consideradas como: a utilização de um número maior de variáveis; identificação das variáveis que pos-

suem relação direta ou indireta com variáveis de interesse; não necessitam de suposições restritivas sobre as suas distribuições de probabilidade subjacentes; e possibilitam a agregação de dados e opiniões de especialistas.

As inferências realizadas através de diagnósticos e prognósticos permitem um melhor aprendizado sobre as causalidades envolvidas nas vendas de serviços ou produtos:

- na análise diagnóstica, com informações sobre o efeito, atualizam-se as causas. Assim, sabendo que ocorreu variação no preço final, é possível inferir, por exemplo, sobre a probabilidade de ocorrer variação nos valores de matéria-prima;
- na análise prognóstica, pode-se saber se ocorrerá variação ou não no preço final dado que, por exemplo, ocorreu variação nos valores de matéria-prima.

Também é importante ressaltar que é possível construir uma rede Bayesiana dinâmica, pois através dela pode-se modelar a relação entre o valor atual de uma variável e seu valor passado ou futuro. Isso é obtido pela adição de outra variável que possua um nome diferente em períodos de tempo distintos. Portanto, quando se usa este artifício, redes Bayesianas permitem uma modelagem dinâmica, representando de forma mais realista a relação das variáveis que influenciam na demanda, como por exemplo: mercado, fatores econômicos, comportamento do consumidor, novas tendências, recursos e estratégias no domínio do tempo.

6.5 Heurísticas de Busca Local e Inteligencia Artificial - Profa. Tatiana

Os problemas de previsão de demanda podem ser naturalmente entendidos como problemas de otimização, já que normalmente se busca minimizar a distância entre o valor previsto (através de alguma técnica ou função) e o valor real. E, quando se tratando de problemas de otimização, são raros os casos em que são conhecidos métodos exatos de solução. Mesmo quando tais métodos existem, normalmente, há limitações relacionadas ao tamanho do problema abordado. As heurísticas surgem como uma alternativa prática, uma vez que fornecem soluções muito próximas às soluções ótimas, em curtos intervalos de tempo e com baixo custo computacional. Dentre as heurísticas que têm apresentados resultados motivadores estão as heurísticas de Busca Local. Através destas heurísticas, uma ou um conjunto de soluções são perturbadas em um processo iterativo, que faz com que as soluções encontradas em cada iteração convirjam para um quadro ótimo ou sub-ótimo ao longo do tempo. Dentre as heurísticas de Busca Local estão os famosos

Algoritmos Genéticos, Multidão de Partículas e Busca Tabu, além da heurística elaborada pela Profa. Tatiana, intitulada Colisão de Partículas em homenagem ao método no qual a heurística foi inspirada (Fraga, Fraga (2010)).

Outra abordagem que vem sendo aplicada com imenso sucesso na previsão de demanda são as técnicas de inteligência artificial, com destaque para as técnicas baseadas em redes neurais. Através das redes neurais é possível criar um sistema de interpolação, cujos coeficientes são determinados em processos de aprendizagem com dados reais. O interessante dessas técnicas é que as mesmas incorporam informações do problema que muitas vezes não são identificadas pelo olhar tradicional. Assim as previsões podem se tornar mais próximas à realidade.

Nesse projeto as técnicas de redes neurais poderão ser também utilizadas para combinação eficiente das diversas metodologias escolhidas, de forma que os pesos da combinação possam ser definidos, de forma inteligente, com base em informações relevantes e nos históricos de dados.

6.6 Tratamento dinâmico - Prof. Marcílio

Sistemas dinâmicos são sistemas de equações, discretos ou contínuos, capazes de modelar fenômenos diversos como funções da variável independente t e de um conjunto de estados (Devaney (2018)). O problema de previsão de demanda pode ser visto como um sistema dinâmico contínuo ou discreto de forma natural, embora alguns casos não sejam modelados por esses sistemas. Conforme anteriormente informado, nosso objetivo em previsão de demanda consiste em prever de forma razoável o potencial de vendas $V(t)$. Neste sentido, existem dois caminhos principais para introduzir a teoria de sistemas dinâmicos nas previsões. Em primeiro caso, essa função venda pode ser estimada de forma discreta por uma equação de diferenças, $v_{n+1} = f(n, v_n)$, onde n estaria representando o período de referência para o qual queremos estimar o número de vendas. Existe também a possibilidade de introduzir modelos contínuos, fazendo $\frac{\partial V}{\partial t} = F(t, x_1, \dots, x_n)$ que seria uma equação diferencial baseada no modelo. O objetivo do projeto consiste em inovar os métodos tradicionais de previsão, de modo que o método resultante seja aplicável a vários produtos da região.

Seria louvável que pudéssemos propor modelos mais sensíveis a parâmetros classicamente modelados por dinâmicas logísticas. O acoplamento dos modelos que capturam sazonalidade e obsolescência de produtos pode ser relacionado com funções logísticas. A função logística tem grande afinidade com diversas áreas,

incluindo redes neurais e economia, sendo natural sua exploração em nosso projeto. Desta forma, os sistemas dinâmicos surgem naturalmente como possibilidades inovadoras para a área.

6.7 Proposição de metodologia combinada

Através da pesquisa prévia realizada para planejamento e elaboração do presente projeto, foi identificado que entre as técnicas que tiveram maior sucesso para previsões de demanda estão as técnicas combinadas. A combinação de técnicas se torna ainda mais interessante para esse projeto devido ao fato de que este, ambiciosamente, propõe a elaboração de uma metodologia única que possa ser aplicada à produtos de naturezas distintas.

De acordo com Atiya (2019), uma combinação de previsões pode ser representada como

$$u = \sum_{m=1}^m w_m u(m) \quad (6.3)$$

onde $u(m)$ e w_m , para $m = 1, \dots, N$, representam respectivamente as N previsões combinadas e os peso dessas previsões.

Ainda, segundo o autor, uma combinação é dita convexa quando $w_m \leq 1, \forall m$, e $\sum_{m=1}^m w_m = 1$.

Para Atiya (2019), o uso da combinação de previsões é melhor do que o uso das metodologias em separado, isso porque o método combinado ameniza as imprecisões dos modelos utilizados. Contudo essa melhora surge apenas quando são observados alguns cuidados:

- a combinação de previsões deve ser uma estratégia vencedora se as previsões constituintes forem ou diversificadas ou comparáveis em desempenho;
- devem ser excluídas as previsões consideravelmente piores do que os melhores valores encontrado na região de otimalizade, exceto quando estas forem muito diversas das demais.

Tendo como base essas observações, neste projeto a elaboração da nova metodologia combinada será desenvolvida em conjunto por todos os membros da equipe buscando agregar o conhecimento adquirido por cada um durante a realização do projeto sobre a natureza e superioridade das diversas técnicas estudadas para o portfólio de produtos elaborado.

7. Contribuições realizadas

7.1 Levantamento de dados e outras informações relevantes

Fizemos parceria com três empresas de três diferentes setores para levantamento de dados e outras informações relevantes e necessárias ao andamento deste projeto. As alunas Alexia Maria Duque Silva, Beatriz Marinho Cavacanti, e Erika Leticia Rodrigues Silva foram responsáveis pela coleta destas informações fazendo uma importante ponte entre as empresas e os professores. As alunas também se ocuparam em compreender as metodologias aplicadas e as bibliotecas do COPSolver desenvolvidas durante a realização deste projeto, ajudando portanto na análise do software. A contribuição das alunas foi e /ou está sendo publicada em seus respectivos trabalhos de PIBIC ou TCC.

Também fizemos o levantamento de dados de uma empresa de moto peças do agreste pernambucano. O aluno Jeová Ribeiro Falcão Filho foi responsável pela coleta destas informações. O trabalho realizado teve como objetivo encontrar o método preditivo mais adequado para prever o faturamento dessa empresa. Utilizamos quatro modelos escolhidos e foi possível obter algumas conclusões:

- Os modelos de média móvel obtiveram resultados bem semelhantes tanto com o período (n) de três meses quanto com seis meses, não diferente disso, o modelo de regressão linear obteve um erro também muito próximo ao de média móvel, se comparando apenas as três alternativas de previsão, qualquer uma que fosse escolhida teria desempenho semelhante.
- Contudo, após utilizar os modelos de árvore de decisão e floresta aleatória, os resultados foram bem mais satisfatórios, diminuindo assim o erro pela metade e sendo os mais indicados para prever a demanda nesse caso em específico.

Se a pesquisa fosse realizada com um período maior e com mais dados para identificar outros padrões que podem influenciar a demanda dessa empresa, é possível

que o resultado pudesse ser um pouco diferente e com uma taxa de erro menor. A contribuição do aluno foi publicada em seu trabalho de TCC.

Estamos agora levantando dados de uma empresa varejista e atacadista de plásticos e aviamentos do agreste pernambucano. O aluno Abner Xavier Tavares Vasconcelos está responsável por este levantamento e demais informações relevantes. O objetivo inicial é analisar o controle de estoque através da curva ABC. Também serão desenvolvidos os seguintes passos:

- Apresentar a situação atual do estoque e quais as práticas de gestão de estoques são adotadas pela empresa;
- Investigar a importância do controle de estoque para a empresa em questão;
- Definir quais critérios e dados serão utilizados para a classificação dos produtos selecionados no estudo.
- Realizar uma análise das curvas ABC para classificação do nível de importância dos itens em termos de valor de vendas;
- Avaliar os efeitos da pandemia do Covid-19 no planejamento econômico da empresa;
- Analisar os impactos que a pandemia causou ao controle de estoque da empresa, considerando aspectos como demanda, fornecimento, armazenagem e logística;
- Propor estratégias e soluções para aprimorar o controle de estoque da empresa, levando em consideração os pontos analisados.

A contribuição do aluno será publicada em seu trabalho de TCC.

7.2 Levantamento bibliográfico, redação de textos didáticos e relatório

Toda a parte de levantamento bibliográfico e redação textual foi realizada pela Professora Tatiana Balbi Fraga, com exceção da parte relacionada a Previsão de demanda intermitente através dos métodos de Croston e Syntetos-Boylan Approximation (SBA), metodologia Bayesina e métodos de aprendizagem de máquina: Árvore de decisão e Floresta Aleatória que foi responsabilidade da Profa. Regilda da Costa e Silva Menêzes.

7.3 Desenvolvimento, teste e validação de metodologias

As metodologias desenvolvidas, algoritmos e códigos computacionais além dos testes e validações foram atividades realizadas pela Professora Tatiana Balbi Fraga.

8. Dificuldades encontradas

Além do desenvolvimento em paralelo de outro projeto de pesquisa e de diversas outras atividades, outras dificuldades corroboraram para o atraso na realização do presente projeto. Tais dificuldades ocorreram devido ao atraso no registro do projeto de pesquisa pela pró-reitoria de pesquisa (PROPESQI), conforme especificado a seguir.

O projeto estava previsto para ser iniciado em 02/2020. O mesmo foi cadastrado através de processo SIPAC 23076.057489/2019-21, com a antecedência necessária, em 09/11/2019. Contudo, a aprovação do registro do projeto de pesquisa só aconteceu em 11/02/2021, por Ad referendum. Ou Seja, um ano após o início previsto para o projeto. Este atraso resultou em vários problemas para a execução do projeto, tais como: a) a desistência da aluna Thais Cristina Gaino, que seria responsável pela coleta inicial de dados, indispensáveis para a realização do projeto; b) a desistência dos professores Marcos Luiz Henrique, Marcilio Ferreira dos Santos e Abdeladhim Tahimi, cuja contribuição era indispensável para realização de boa parte do projeto; c) a desmotivação por parte de todos os professores para realização do projeto; d) a inviabilidade de levantamento dos dados iniciais durante um longo período devido à aprovação do registro ter coincidido com época de COVID; e e) a quebra de autoria sobre a proposta de solução apresentada, já que grande parte da proposta de inovação concebida e desenvolvida para o projeto, após um árduo trabalho de pesquisa e elocubração mental, foi posteriormente aplicada e publicada por outros professores e alunos da UFPE e de outras instituições de Pernambuco.

Contudo, tivemos a sorte de conseguir novos integrantes para realização do trabalho, em especial para levantamento de dados. E conseguimos desenvolver contribuições científicas de grande relevância que estão sendo agora publicadas em um importante congresso científico.

9. Solicitação de prorrogação do período de realização do projeto

Conforme explicado nas seções 5 e 8, este projeto deu origem à importantes contribuições científicas. Contudo não foi possível ainda concluir todas as metas definidas, conforme planejado.

Como esperamos dar continuidade ao projeto, solicitamos a prorrogação do projeto.

O período de prorrogação deste projeto está planejado para ser realizado durante o período de 3 anos, com início previsto para data de aprovação da prorrogação (possivelmente em 2024). As atividades descritas na metodologia estão projetadas para serem realizadas conforme cronograma apresentado a seguir:

Atividade	Cronograma (trimestre)											
	1 ^o	2 ^o	3 ^o	4 ^o	5 ^o	6 ^o	7 ^o	8 ^o	9 ^o	10 ^o	11 ^o	12 ^o
1 ^a	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
2 ^a		xx	xx	xx								
3 ^a			xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx		
4 ^a				xx	xx	xx	xx					
5 ^a						xx	xx	xx	xx	xx		
6 ^a							xx	xx	xx	xx		
7 ^a								xx	xx	xx		
8 ^a	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx
9 ^a	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx	xx

Table 9.1: Cronograma planejado para este projeto.

10. Viabilidade de execução do projeto no período de prorrogação

Os participantes deste projeto possuem todas as qualificações necessárias ao seu desenvolvimento.

O projeto será realizado preferencialmente no CAA-UFPE. Assim, todos os participantes do presente projeto, terão acesso garantido a toda a infraestrutura necessária para o correto desenvolvimento de seu trabalho incluindo recursos físicos (sala e mobiliário), bibliográficos e computacionais da UFPE e mais especificamente do CAA. O departamento de engenharia de produção do CAA conta atualmente com dois laboratórios de informática que disponibilizam, pelo menos, 30 computadores. O GAMOS, em especial, conta com laboratório próprio, e que atualmente dispõe de 3 computadores. Em termos de recursos bibliográficos, os pesquisadores da área de engenharia da produção contam com a biblioteca central da UFPE e as bibliotecas setoriais do CTG (Centro de Tecnologia e Geociências) e do CCEN (Centro de Ciências Exatas e da Natureza), localizadas no campus da UFPE de Recife, e com a biblioteca do próprio CAA, que possuem assinatura de alguns dos principais periódicos na área além do acesso remoto à base de dados disponíveis hoje via rede, entre elas o banco de dados disponibilizados pela CAPES e pelo sciencedirect.

Parte do projeto será também realizada através de visitas às empresas que serão escolhidas para realização desse trabalho. As parcerias com as empresas serão firmadas durante a realização do projeto e os termos de parceria serão anexados no relatório final.

11. Resultados esperados para o período de prorrogação

Como frutos deste projeto esperamos:

- desenvolver pelo menos uma nova metodologia combinada adequada à previsão de demanda para micro e pequenas empresas do Agreste Pernambucano. Esperamos que tal metodologia seja adequada ao portfólio identificado, e que sua acuracidade seja independente de interferência humana não planejada;
- programas de computador para teste das metodologias apresentadas na literatura e da nova metodologia elaborada;
- resultados científicos importantes, que estarão sendo publicados em congressos e/ou revistas científicas;
- livro sobre as diversas metodologias aplicadas à previsão de demanda, tendo em vista o trabalho que será dedicado à compreensão dessas metodologias.

Também esperamos outros importantes resultados deste projeto não diretamente mensuráveis, conforme especificado a seguir:

- aprimoramento e aprofundamento do *knowhow* da equipe sobre diversas metodologias aplicadas a previsão de demanda;
- possível aprimoramento do conteúdo apresentado em aula pelos professores, quando pertinente ao assunto;
- aprimoramento do conhecimento em programação.

Bibliography

- Andrawis, R. R., Atiya, A. F., and El-Shishiny, H. (2011). Forecast combinations of computational intelligence and linear models for the nn5 time series forecasting competition. *International Journal of Forecasting*, 27:672–688.
- Atiya, A. F. (In press, corrected proof, Available online 24 May 2019). Why does forecast combination work so well? *International Journal of Forecasting*.
- Correia, W. F. M. (2006). Dertrizes para o desenvolvimento de produtos através de redes bayesianas: Uma aplicação. In *Anais do congresso Latino-Ibero Americano de Investigación Operativa*, Montevideo. Congresso Latino-Ibero Americano de Investigación Operativa.
- Devaney, R. (2018). *An introduction to chaotic dynamical systems*. CRC Press.
- Firmino, P. R. A. (2004). *Redes Bayesinas para a parametrização da confiabilidade em sistemas complexos*. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - Unifersidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Fraga, T. B. (2010). *Proposição e análise de modelos híbridos para o problema de escalonamento de produção em oficina de máquinas*. PhD thesis, Doutorado em Modelagem Computacional, Instituto Politécnico do Estado do Rio de Janeiro (IPRJ), Nova Friburgo, RJ, Brasil.
- k. B. Korb and Nicholson, A. E. (2003). *Bayesian artificial intelligence*. Chapman & Hall/CRC, Florida.
- Lahtinen, T. J., Hämmäläinen, R. P., and Liesiö, J. (2017). Portfolio decision analysis methods in environmental decision making. *Environmental Modelling & Software*, 94:73–86.
- Maqsood, H., Mehmood, I., Maqsood, M., Yasir, M., and Muhammad, K. (2019). A local and global event sentiment based efficient stock exchange forecasting using deep learning. *International Journal of Information Management*, In press, corrected proof.

- Merkuryeva, G., Valberga, A., and Smirnov, A. (2019). Demand forecasting in pharmaceutical supply chains: A case study. *Procedia Computer Science*, 149:3–10.
- Rubio, G., Pomares, H., Rojas, I., and Herrera, L. J. (2011). A heuristic method for parameter selection in ls-svm: Application to time series prediction. *International Journal of Forecasting*, 27:725–739.
- Tanizaki, T., Hoshino, T., Shimmura, T., and Takenaka, T. (2019). Demand forecasting in restaurants using machine learning and statistical analysis. *Procedia CIRP*, 79:679–683.
- Wanke, P. and Julianelli, L. (2006). *Previsão de vendas: processos organizacionais & métodos quantitativos e qualitativos*. Editora Atlas.