

# SMART iOptimus: otimização do processo de corte através do uso de Machine Learning

**Tema:** Recuperação de crédito - Inadimplência

**Autores:** Bruno Nascimento (SEW), Webert Almeida Botelho (CEMIG)

**Co-Autores:** Diogo Kobbi (SEW), Jamilton Carvalhaes (SEW)

**Empresa:** Choice Technologies SA

---

## Resumo

A suspensão do fornecimento de energia é uma medida comum adotada por empresas de distribuição para recuperar créditos de consumidores inadimplentes. No entanto, a seleção tradicional de alvos, baseada apenas nos maiores índices de inadimplência, apresenta diversas limitações, afetando a eficácia e a produtividade do processo. Este artigo apresenta um estudo de caso da CEMIG Distribuição S.A., que implantou a solução SMART iOptimus para otimizar a seleção de alvos para suspensão de fornecimento. Os resultados obtidos demonstram um aumento significativo na efetividade da recuperação de receita, evidenciando o potencial da ferramenta em otimizar processos e melhorar a eficiência operacional.

## 1. Introdução

A gestão da inadimplência é um desafio constante para empresas do setor energético. A suspensão do fornecimento é uma medida utilizada para incentivar o pagamento de contas em aberto (Silva, M. E., & Carvalho, P. S., 2019). No entanto, a seleção tradicional de consumidores para corte, baseada apenas no valor da dívida, apresentava diversas limitações. Fatores como a logística, as condições socioeconômicas dos clientes e a capacidade das equipes de campo influenciavam diretamente a eficácia desse processo. Diante desse cenário, a CEMIG Distribuição S.A. buscou uma solução para otimizar a seleção de alvos para suspensão de fornecimento, com o objetivo de aumentar a eficiência na cobrança e reduzir os custos operacionais. A plataforma SMART iOptimus, desenvolvida pela SEW, foi escolhida para atender a essa necessidade. Após sua implantação em ambiente de produção, a solução alcançou um aumento de 20% na efetividade de recuperação de receita. Embora ainda existam oportunidades de melhoria, a otimização e flexibilização do processo contribuíram para elevar a eficiência das cobranças, minimizando desperdícios financeiros relacionados à baixa produtividade e à ineficácia das ações de corte.

Nas próximas seções serão apresentados o cenário de aplicação, a nova metodologia proposta, a solução SMART iOptimus - Geo Disconnection, além de um estudo de caso comparativo.

## 2. Desenvolvimento

### 2.1. Cenário de estudo

O cenário atual na CEMIG Distribuição S.A. apresenta uma taxa de inadimplência relativamente baixa, inferior a 3%, refletindo um bom desempenho geral dos clientes no pagamento das contas de energia elétrica. Apesar disso, o volume de operações relacionadas à suspensão de fornecimento de energia é elevado, com cerca de 5.000 cortes físicos sendo realizados diariamente. Esse número reflete a dinâmica do processo e a necessidade de uma gestão eficiente, especialmente considerando que, a cada dia, aproximadamente 20.000 novos clientes entram na régua de cobrança.

As operações são executadas por 500 equipes de corte, que desempenham um papel essencial no cumprimento das metas, exigindo um alto nível de organização e coordenação. Em relação à natureza das ações, a maior parte dos cortes (95%) ocorre diretamente na caixa de medição, enquanto uma pequena parcela (5%) é realizada no poste. Mensalmente, o número total de cortes realizados é expressivo, alcançando cerca de 100.000.

Quanto ao desempenho das equipes, a efetividade média por motociclista varia entre 11 e 15 cortes efetivos por dia. Embora esse indicador seja positivo, ele aponta que há espaço para melhorias na produtividade e na eficiência das operações, o que poderia contribuir para otimizar ainda mais a gestão do processo e os resultados obtidos.

## 2.2. Metodologia proposta

A metodologia proposta para este estudo visa otimizar a execução de serviços de suspensão de fornecimento de energia elétrica (Corte), por meio da formação de clusters de serviços que reduzam o deslocamento das equipes de campo e priorizem os melhores alvos para recuperação de receita. Essa abordagem combina a análise de dados com técnicas de otimização combinatória e pode ser descrita em seis etapas principais:

### **Conjunto de Dados de Entrada**

Inicia-se com a coleta e organização de uma lista abrangente de todos os clientes aptos para corte, sem aplicação de qualquer filtro inicial. Esse conjunto de dados representa a base completa para análise e seleção dos alvos.

### **Alocação das Equipes de Corte por Região de Atuação**

As equipes responsáveis pela execução dos cortes são distribuídas por regiões geográficas específicas, levando em consideração a capacidade operacional de cada equipe e a extensão das áreas de atuação.

### **Definição das Áreas com Maior Probabilidade de Corte e Quantidade de Clusters**

A análise considera regiões onde há maior probabilidade de sucesso na realização do corte, com base em fatores como densidade de inadimplência, potencial de recuperação de receita e histórico de execução. Nesta etapa, também é determinada a quantidade ideal de clusters (agrupamentos) de clientes para cada região, visando balancear eficiência e produtividade.

### **Execução de Algoritmos de Otimização Combinatória**

Aplicam-se algoritmos de otimização combinatória para formar os clusters, priorizando grupos que maximizem o potencial de recuperação de receita e minimizem o deslocamento das equipes.

### **Exibição dos Resultados e Integração com Sistemas Comerciais**

Após a formação dos clusters, os resultados são exibidos de forma visual e detalhada, incluindo a priorização dos clientes dentro de cada grupo. Esses dados são integrados diretamente aos sistemas comerciais, permitindo a geração automatizada das ordens de serviço.

### **Monitoramento dos Resultados**

A última etapa consiste no acompanhamento contínuo dos resultados, por meio de dashboards que monitoram indicadores-chave, como taxas de execução, recuperação de receita e eficiência operacional. Esse monitoramento permite ajustes em tempo real para otimizar ainda mais os processos futuros.

Essa metodologia busca equilibrar a eficiência operacional com a maximização da recuperação de receita, utilizando técnicas baseadas em dados e tecnologias de otimização para apoiar a tomada de decisão e o planejamento estratégico das ações de corte.

2.3. A solução SMART iOptimus – Geo Disconnection

A solução SMART iOptimus – Geo Disconnection tem por finalidade executar modelos de otimização para seleção ótima dos alvos de corte com base em georreferenciamento. A estratégia aplicada consiste na busca de um cluster de serviços para execução de Corte – suspensão do fornecimento de energia elétrica –, que possibilite o menor deslocamento para os eletricitas executores contendo os melhores alvos de recuperação de receita.

Das diversas funcionalidades previstas destacam-se as seguintes:

Agenda de eventos (Figura 01)

- Permite visualizar eventos em um calendário: esta funcionalidade possibilita visualização de todas as programações realizadas ou previstas em uma linha do tempo.

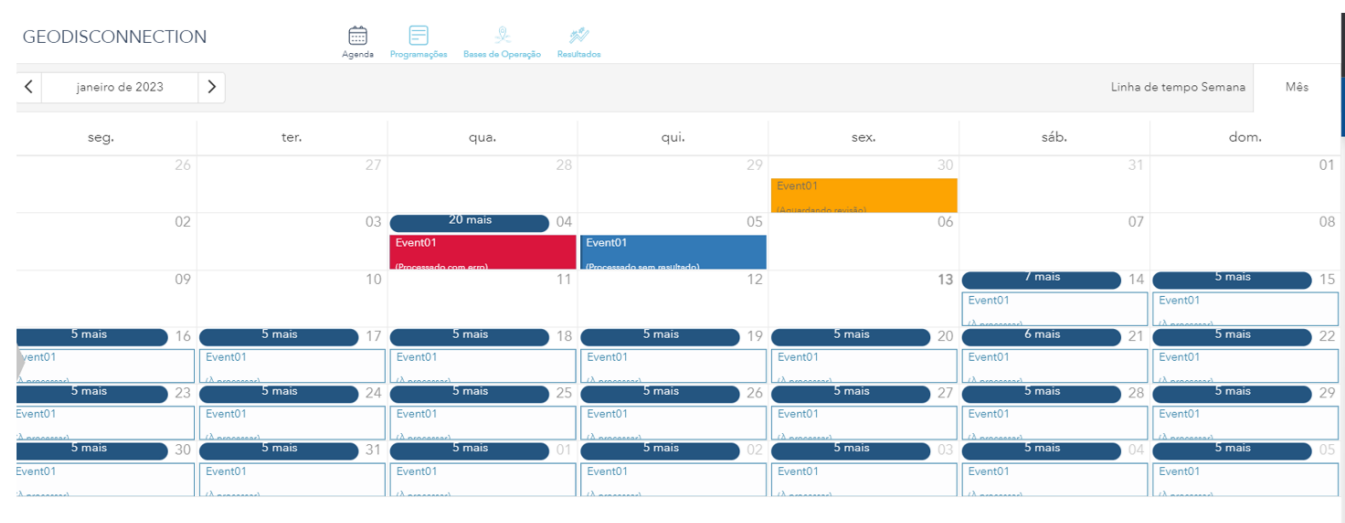


Figura 01: Calendário de eventos

Programações (Figura 02)

- Definir programações: esta funcionalidade possibilita a parametrização das regras para definições das programações de corte. Para esta funcionalidade será possível definir execuções recorrentes.
- Definir distribuição automática de clusters: esta funcionalidade possibilita definir se a programação a ser executada, aloca os eletricitas em áreas de atuação de forma automática.
- Definir aprovação automática: esta funcionalidade possibilita definir se as listas ótimas serão pré-aprovadas. Ou seja, com base nos critérios definidos pelo usuário, o SMART iOptimus disponibilizará automaticamente as listas ótimas de corte para geração das ordens de serviço.

The screenshot displays the 'GEODISCONNECTION' web application. At the top, there is a navigation bar with icons for 'Agenda', 'Programações', 'Bases de Operação', and 'Resultados'. Below this is a progress bar with five steps: '1. Parâmetros de entrada' (highlighted in blue), '2. Filtros de seleção', '3. Critérios de seleção e roteirização', '4. Seleção de Clusters', and '5. Finalizar'. The main content area is titled 'Parâmetros de entrada' and contains the following fields and options:

- Nome:** A text input field.
- Data de Início:** A date selection field with a calendar icon.
- ☒ **Aprovação Automática**
- ☒ **Habilitado**
- Seleção automática**
  - ☒ **Habilitar recorrência**
  - Tipo de recorrência:** A dropdown menu currently showing 'Todos os dias'.
  - Data de Término:** A date selection field with a calendar icon.

Figura 02: Criação de Programações

### Seleção e Roteirização com uso de Machine Learning (Figura 03)

A espinha dorsal da solução reside em um conjunto de seis algoritmos, cada um com um propósito específico e utilizando técnicas como:

- Definir estratégias para seleção dos clusters: esta funcionalidade possibilita definir a definição da estratégia para clusterização, são elas:
  - o K-Vizinhos Mais Próximos: Essa técnica clássica de machine learning é utilizada para agrupar clientes com características semelhantes, como localização geográfica. Ao formar clusters com base na proximidade, a plataforma otimiza as rotas das equipes, minimizando o tempo de deslocamento;
  - o K-Maiores Valores Mais Próximos: Neste caso, a formação dos clusters leva em consideração o valor da dívida dos clientes. Ao agrupar clientes com dívidas mais elevadas, a plataforma prioriza a recuperação de receita;
  - o K-Maiores Valores Esperado Mais Próximos: Essa técnica combina a análise do valor da dívida com um score de resposta à ação de cobrança, gerado por modelos de machine learning. Ao considerar a probabilidade de um cliente realizar o pagamento após a ação de corte, a plataforma otimiza a seleção dos alvos, maximizando a recuperação de receita;
  - o K-Maiores efetividades à ação de corte: Similar ao anterior, este algoritmo utiliza um score de efetividade, calculado com base em históricos de pagamento e outras variáveis relevantes, para priorizar os clientes com maior probabilidade de responder positivamente à ação de corte.

É importante ressaltar que os algoritmos utilizados pela plataforma combinam técnicas gulosas e de machine learning para gerar os scores de efetividade. As técnicas gulosas permitem tomar decisões locais que visam otimizar um objetivo específico a curto prazo, enquanto o machine learning utiliza modelos estatísticos para aprender com os dados históricos e fazer previsões sobre o comportamento futuro dos clientes.

Estas técnicas utilizadas são amplamente discutidas em artigos como Bishop, C. M. (2006); Chopra, S., & Meindl, P. (2016), Mitchell, T. M. (1997) e Russell, S., & Norvig, P. (2021).

Após a formação dos clusters, a plataforma utiliza algoritmos de otimização para gerar as melhores rotas para as equipes de campo, considerando fatores como distância, tempo de deslocamento e capacidade de cada equipe. A funcionalidade de roteirização permite:

- Definir estratégia de roteirização: esta funcionalidade possibilita definir a forma de roteirização, são elas:
  - o Gerar melhor rota a partir do maior débito no cluster;
  - o Gerar melhor rota a partir da base operacional (local físico dos eletricitistas).

A interface do sistema GEODISCONNECTION apresenta uma barra lateral com ícones de navegação e uma barra superior com menus: Agenda, Programações, Bases de Operação e Resultados. O processo principal é dividido em cinco etapas: 1. Parâmetros de entrada, 2. Filtros de seleção, 3. Critérios de seleção e roteirização (destacada em azul), 4. Seleção de Clusters e 5. Finalizar.

Na etapa 3, o título é "Critérios de seleção e roteirização". Há quatro opções de seleção com ícones de ajuda:

- ☒ K-maiores valores mais próximos
- ☐ K-vizinhos mais próximos
- ☐ K-valores esperados mais próximos
- ☐ K-maiores efetividades mais próximos

Abaixo, há três campos de entrada:

- Raio de busca (Kms):
- Instalações por cluster:
- Distância entre centróides (Kms):

Na seção "Roteirização", há duas opções:

- ☒ Roteirizar a partir do maior débito no cluster
- ☐ Roteirizar a partir da Base Operacional

Figura 03: Critérios de Seleção e Roteirização baseados em Machine Learning

#### Bases de Operação – Alocar eletricitistas nas Bases Operacionais (Figura 04)

- Definir a alocação dos eletricitistas de acordos com as metas: esta funcionalidade possibilita ao usuário alocar os eletricitistas a níveis de Gerência e Base operacional. Esta informação é requerida para a aplicação do critério de “Distribuição automática de clusters”.

Agenda

Programações

Bases de Operação

Resultados

1. Parâmetros de entrada

2. Filtros de seleção

3. Critérios de seleção e roteirização

4. Seleção de Clusters

5. Finalizar

Seleção de Clusters

☐ Clusterização Automática

Gerência	Polo	Local	Município	Ucs Qty	Clusters Qty	Debt Amount	Avg Amount
SD/MQ	Juiz de Fora	0133	ITABIRITO	14	<input type="text"/>	4,075.37	291.10
SD/MQ	Juiz de Fora	0401	PONTE NOVA	21	<input type="text"/>	2,966.31	141.25
SD/MQ	Juiz de Fora	0413	OURO PRETO	10	<input type="text"/>	2,258.42	225.84
SD/MQ	Juiz de Fora	0436	RAUL SOARES	40	<input type="text"/>	11,712.24	292.81
SD/MQ	Juiz de Fora	0437	ABRE CAMPO	22	<input type="text"/>	6,502.30	295.56
SD/MQ	Juiz de Fora	1046	PIRAPETINGA	2	<input type="text"/>	749.72	374.86
SD/MQ	Juiz de Fora	1101	SAO JOAO DEL REI	60	<input type="text"/>	13,362.69	222.71
SD/MQ	Juiz de Fora	1106	TIRADENTES	4	<input type="text"/>	3,614.18	903.55
SD/MQ	Juiz de Fora	1107	PRADOS	5	<input type="text"/>	1,970.14	394.03
SD/MQ	Juiz de Fora	0747	CONTAGEM	4	<input type="text"/>	1,190.46	297.62

Figura 04: Definição de clusters (manual/automática)

## Dashboards

- Painel que compare o número total e a percentagem de cortes realizados com as metas estabelecidas. Neste painel as métricas apresentadas são: total de cortes planejados, total de cortes executados, percentual de execução, acumulado planejado, acumulado executado e percentual de execução acumulado.

Na próxima seção são apresentados os resultados de um estudo de caso realizado após a implantação.

### 2.4. Resultados obtidos

#### 2.4.1. Estudo de caso

Para este estudo de caso foi realizado uma comparação entre a nova solução SMART iOptimus e a solução anterior (antes da implantação). Para o estudo foi escolhido 5 regiões, considerando cerca de 2000 instalações ao todo.

Os critérios utilizados foram:

- Quantidade de regiões: 5
- Instalações ligadas, urbanas e em condição de corte;
- Valores de débitos > R\$150,00;
- Quantidade de clusters: 10 por região;
- 40 Instalações/cluster;
- Método de otimização: seleção a partir dos k-maiores valores mais próximos;
- Método de roteirização: N/A

Cabe ressaltar que o método de roteirização não foi utilizado na comparação, pois a solução anterior não possuía este recurso.

O ganho em relação a efetividade do Corte foi na média de 20% em relação a solução anterior, o que demonstrou a eficiência do novo processo de otimização. A Figura 05 apresenta os clusters formados por ambas as soluções:



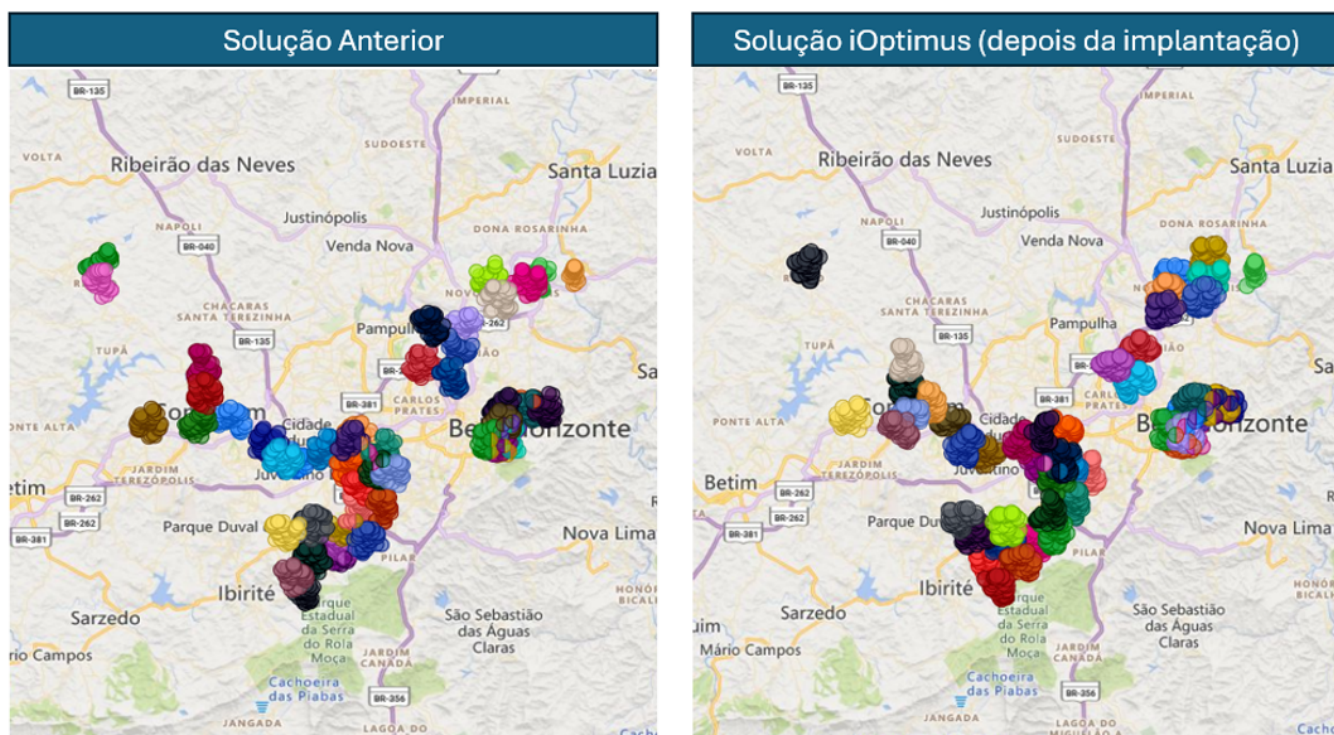


Figura 05: Comparação dos clusters Antes X Depois da implantação

A nova solução SMART iOptimus para otimização tem proporcionado um aumento de aproximadamente 20% na eficiência do processo desde que foi implantada, destacando-se pela agilidade no processamento e pela capacidade de analisar grandes volumes de dados em tempo reduzido. Essa agilidade permite uma tomada de decisão mais rápida e assertiva, contribuindo diretamente para a eficiência operacional. Além disso, a coesão dos clusters gerados pela solução é um fator determinante para o sucesso das operações. A formação de agrupamentos com características homogêneas, como proximidade geográfica e perfil de inadimplência, assegura que as equipes de campo possam atuar de forma organizada e produtiva. Essa coesão facilita o planejamento logístico e reduz o tempo necessário para a execução dos cortes.

Outro ponto relevante é a maior eficiência na recuperação de receita. Ao priorizar clientes com maior potencial de regularização, a solução permite maximizar os resultados financeiros, otimizando os esforços das equipes de campo. A estratégia de priorização combina o valor da dívida com probabilidades preditivas de pagamento, garantindo que os recursos sejam direcionados para ações com maior retorno esperado.

Por fim, a possibilidade de estabelecer uma distância mínima para o raio de atuação dos clusters oferece benefícios significativos na redução de custos operacionais. Com deslocamentos mais curtos, as equipes conseguem atender um maior número de clientes em um mesmo período, aumentando a produtividade e reduzindo despesas com transporte e tempo ocioso.

Essas melhorias tornam a solução SMART iOptimus uma ferramenta versátil e eficaz, especialmente em grandes centros urbanos, onde a densidade de clientes é elevada, e em áreas rurais, onde os desafios logísticos são mais pronunciados.

### 3. Conclusão

Este artigo apresentou a implementação da plataforma **SMART iOptimus – Geo Disconnection** na gestão do Corte pela CEMIG, destacando seu papel estratégico na otimização do processo de cobrança. A plataforma foi implantada para aliar flexibilidade e eficiência, permitindo o uso de modelos preditivos de scoring baseados em Machine Learning e Técnicas baseadas em algoritmos gulosos. Como resultado, observou-se um aumento significativo no processo de recuperação de receita a partir da ação de cobrança de corte.

Um dos principais benefícios proporcionados pela solução foi a agilidade operacional. A plataforma oferece uma interface intuitiva, permitindo à área de negócios criar ou ajustar regras para definição de clusters, além de parametrizações sem a necessidade de suporte contínuo da equipe de TI, simplificando e acelerando o processo de cobrança.

A implantação da ferramenta de otimização trouxe diversos benefícios para a empresa, como:

- **Aumento da eficiência:** A otimização das rotas e a seleção mais precisa dos alvos para corte contribuíram para um aumento na produtividade das equipes.
- **Redução de custos:** A otimização dos recursos, como combustível e tempo de deslocamento, resultou em uma redução dos custos operacionais.
- **Melhoria na experiência do cliente:** A agilidade no processo de corte e a redução de erros contribuíram para uma melhor experiência do cliente.
- **Maior precisão na cobrança:** A ferramenta permite uma seleção mais precisa dos clientes com maior probabilidade de regularização do débito após o corte, aumentando a efetividade da cobrança.

Apesar dos resultados positivos, ainda existem oportunidades para melhorias no processo:

- **Expansão do uso da ferramenta:** É importante expandir o uso da ferramenta para todas as regiões e tipos de clientes, a fim de maximizar seus benefícios.
- **Análise de dados mais aprofundada:** A análise mais aprofundada dos dados gerados pela ferramenta pode identificar novas oportunidades de melhoria e permitir a personalização das estratégias de cobrança para cada perfil de cliente.
- **Treinamento das equipes:** A realização de treinamentos contínuos para as equipes é fundamental para garantir a utilização eficaz da ferramenta e a adaptação às novas tecnologias.

De um modo geral, a implantação da ferramenta de otimização representou um importante passo para a melhoria da eficiência e da efetividade das ações de corte. Os resultados obtidos até o momento são promissores, demonstrando o potencial da ferramenta em contribuir para a redução da inadimplência e a otimização dos processos de cobrança. No entanto, é fundamental continuar investindo em melhorias e na expansão do uso da ferramenta para garantir a sustentabilidade dos resultados alcançados.

## 4. Referências bibliográficas

Silva, M. E., & Carvalho, P. S. (2019). *Gestão de inadimplência no setor elétrico: estratégias e desafios*. *Revista de Administração e Regulação*, 15(2), 123-145.

Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.



**Chopra, S., & Meindl, P.** (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. Pearson.

**Mitchell, T. M.** (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill.

**Russell, S., & Norvig, P.** (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson.