

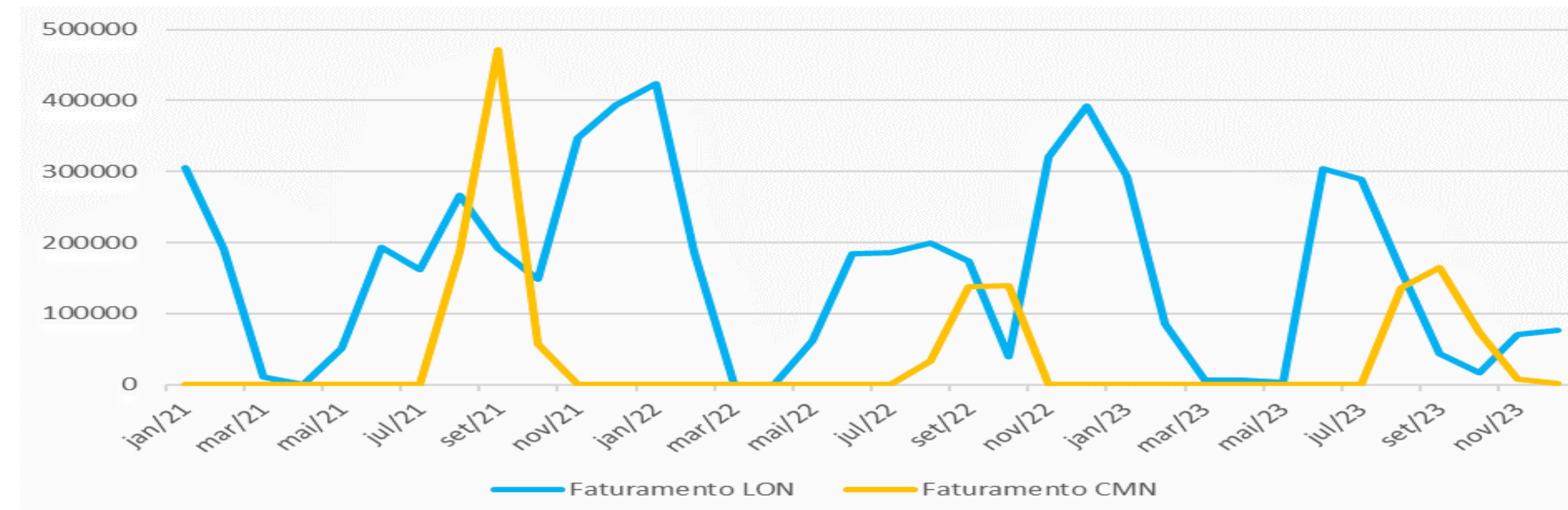
Alunos: Camyla Bezerra dos Santos, Felipe da Costa Lemos Barbosa, Gabriel Silveira Trovo, Gustavo Aroni Santana, Marcelo Victor Menezes Cypriano.

Orientador: Marcel Utiyama (MUTIYAMA@fei.edu.br)



APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE PREVISÃO DE DEMANDA E DE MACHINE LEARNING COM FOCO NA MELHORIA DO SALES AND OPERATIONS PLANNING EM UMA EMPRESA DO SETOR AGROQUÍMICO

Objetivo: Identificar o efeito da utilização de técnicas de previsão de demanda e *Machine Learning*, com foco na melhoria da previsão, redução de erros e aprimoramento do processo de Planejamento de Vendas e Operações (S&OP) de uma empresa do setor agroquímico.



Comportamento da demanda dos CDs (Período de Janeiro de 2021 a Dezembro de 2023)

Justificativa: A empresa enfrenta problemas no S&OP devido à falta de sincronia entre demanda e capacidade, resultando em desperdício de recursos e baixa eficiência. A previsão de demanda imprecisa (ex: 32% de erro só em setembro de 2023) e a comunicação ineficaz entre áreas reforçam a necessidade de um S&OP eficiente.

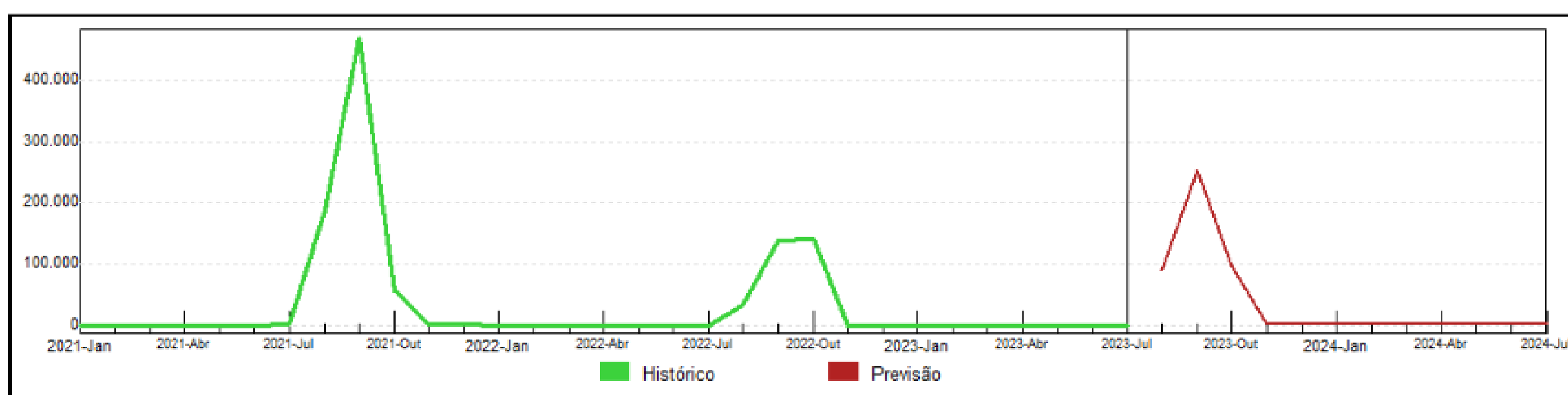
Através do *Machine Learning*, o erro da previsão para o produto milho foi aproximadamente **4x menor** que o erro obtido pela previsão da empresa.

E através das **técnicas de previsão de demanda**, houve uma **redução de aproximadamente 50%** do erro da previsão para o produto soja em relação ao erro obtido pela empresa.

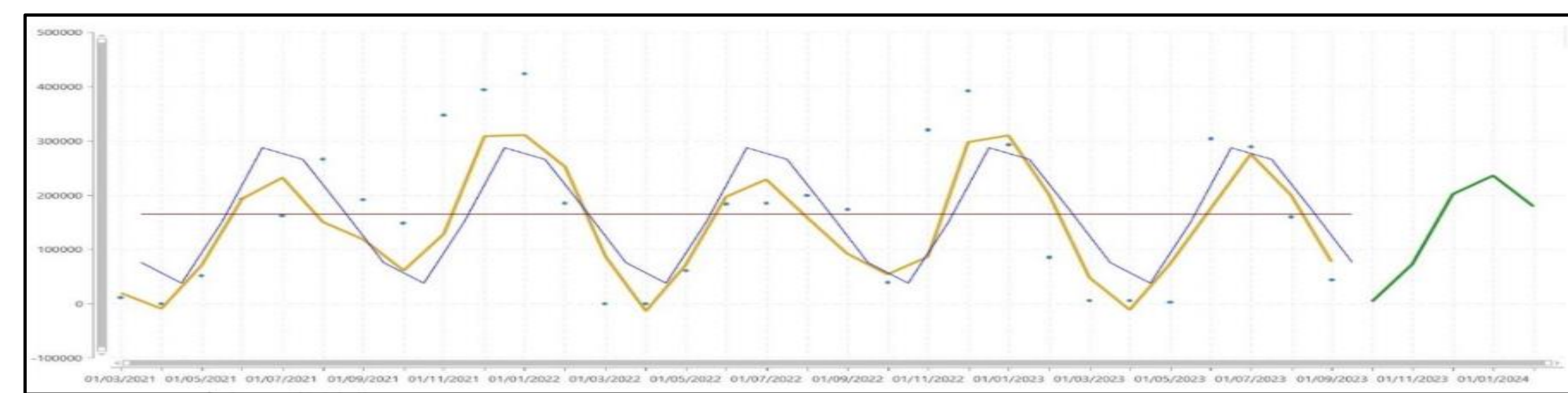
Produto	Centro de Distribuição	Software	Método utilizado	MAPE atual da empresa	MAPE gerado pelo software
Milho	Londrina	Demand Guru	SVM linear	201,8%	55,5%
Soja	Campos Novos	Forecast Pro	Suavização exponencial	59,8%	39,9%

Fonte: Autor (2024)

Previsão do Forecast Pro - CD de Campos Novos



Previsão do Demand Guru - CD de Londrina



Milho (CD de Londrina)

Cenário	Estoque de segurança	Ponto de reposição
Ideal	122.366	191.963
Com a previsão gerada pelo Demand Guru	123.563	206.751
Com a previsão da empresa	289.434	430.524

Fonte: Autor (2024)

Soja (CD de Campos Novos)

Cenário	Estoque de segurança	Ponto de reposição
Ideal	30.152	105.202
Com a previsão gerada pelo Forecast Pro	60.433	148.533
Com a previsão da empresa	91.813	167.676

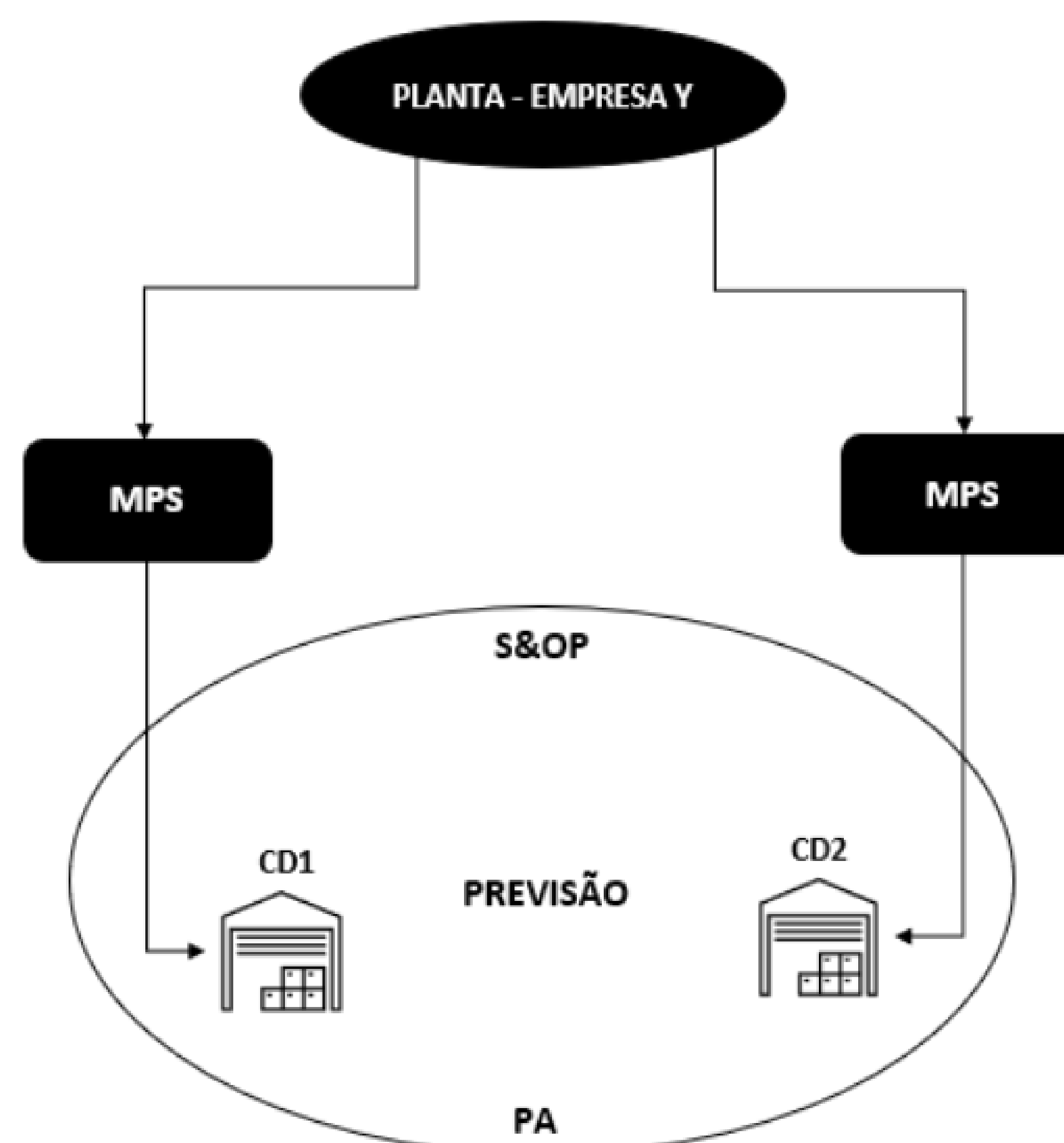
Fonte: Autor (2024)

Cálculo do Estoque de Segurança e do Ponto de Reposição

Com o estoque de segurança e o ponto de reposição calculados através dos dados da previsão gerada pelo softwares, a empresa **economizaria aproximadamente R\$ 207 mil** para o CD de Londrina e **R\$ 133 mil** para o CD de Campos Novos.

Três cenários foram utilizados para análise:

- Cenário ideal:** um cenário utópico, no qual a previsão teria 100% de assertividade.
- Cenário com a previsão gerada pelo softwares:** no caso do CD de Londrina, é a previsão obtida através de *Support Vector Machine* (SVM) Linear no Demand Guru, e no caso do CD de Campos Novos, é a previsão obtida através de suavização exponencial no Forecast Pro.
- Cenário com a previsão da empresa:** cenário atual, o que realmente ocorre na empresa.



Inicialmente, foi feita uma análise detalhada da planta industrial.

A partir dos dados obtidos dessa análise, e do estoque de segurança e ponto de reposição calculados, **foi feito o plano mestre de produção para cada cenário.**

Esses planos, por sua vez, foram utilizados como **insumos para a elaboração do S&OP dos CDs estudados.** O S&OP gerado incorporou tanto as previsões de demanda realizadas quanto o plano agregado (PA).

O MPS foi feito para a planta de produção, enquanto o PA foi feito para os CDs, conforme apresentado a seguir.

ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Alunos: Camyla Bezerra dos Santos, Felipe da Costa Lemos Barbosa, Gabriel Silveira Trovo, Gustavo Aroni Santana, Marcelo Victor Menezes Cypriano.

Orientador: Marcel Utiyama (MUTIYAMA@fei.edu.br)



Plano Mestre de Produção da planta

LONDRINA - Previsão do Demand Guru		Períodos					
Item: Milho	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	
Previsão de demanda independente		3.714	72.775	201.665	235.920	179.156	
Pedidos em carteira		17.270	71.080	75.757	265.410	150.456	
Demanda		17.270	72.775	201.665	265.410	179.156	
Estoque (atual disponível)/projetado	0	162.730	269.955	248.290	106.443	0	
Disponível para promessa (ATP)		162.730	108.920	104.243	-141.847	-77.743	
ATP acumulado		162.730	271.650	375.893	234.046	156.303	
Programa mestre de produção (MPS)		180.000	180.000	180.000	123.563	72.713	

LONDRINA - Previsão da Empresa Y		Períodos					
Item: Milho	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	
Previsão de demanda independente		13.627	243.682	573.848	303.931	40.662	
Pedidos em carteira		17.270	71.080	75.757	265.410	150.456	
Demanda		17.270	243.682	573.848	303.931	150.456	
Estoque (atual disponível)/projetado	720.000	882.730	819.048	425.200	150.456	0	
Disponível para promessa (ATP)		882.730	108.920	104.243	-386.679		
ATP acumulado		882.730	991.650	1.095.893	709.214	709.214	
Programa mestre de produção (MPS)		180.000	180.000	180.000	29.187		

LONDRINA - C/ 100% de assertividade		Períodos					
Item: Milho	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	
Previsão de demanda independente		17.270	71.080	75.757	265.410	150.456	
Pedidos em carteira		0	0	0	0	0	
Demanda		17.270	71.080	75.757	265.410	150.456	
Estoque (atual disponível)/projetado	0	122.366	122.366	122.366	36.956	0	
Disponível para promessa (ATP)		139.636	71.080	75.757	180.000	113.500	
ATP acumulado		139.636	210.716	286.473	466.473	579.973	
Programa mestre de produção (MPS)		139.636	71.080	75.757	180.000	113.500	

CAMPOS NOVOS - Previsão do Forecast Pro		Períodos			
Item: Soja	Jul	Ago	Set	Out	
Previsão de demanda independente		89.792	253.794	96.911	
Pedidos em carteira		136.796	164.351	74.104	
Demanda		136.796	253.794	96.911	
Estoque (atual disponível)/projetado	270.000	223.204	59.410	0	
Disponível para promessa (ATP)		223.204	-74.351	-36.603	
ATP acumulado		223.204	148.853	112.250	
Programa mestre de produção (MPS)		90.000	90.000	37.501	

CAMPOS NOVOS - Previsão da Empresa Y		Períodos			
Item: Soja	Jul	Ago	Set	Out	
Previsão de demanda independente		41.080	288.990	49.243	
Pedidos em carteira		136.796	164.351	74.104	
Demanda		136.796	288.990	74.104	
Estoque (atual disponível)/projetado	270.000	223.204	24.214	0	
Disponível para promessa (ATP)		223.204	-74.351	-24.214	
ATP acumulado		223.204	148.853	124.639	
Programa mestre de produção (MPS)		90.000	90.000	49.890	

CAMPOS NOVOS - C/ 100% de assertividade		Períodos			
Item: Soja	Jul	Ago	Set	Out	
Previsão de demanda independente		136.796	164.351	74.104	
Pedidos em carteira		0	0	0	
Demanda		136.796	164.351	74.104	
Estoque (atual disponível)/projetado	180.000	133.204	30.152	0	
Disponível para promessa (ATP)		270.000	61.299	43.952	
ATP acumulado		270.000	331.299	375.251	
Programa mestre de produção (MPS)		90.000	61.299	43.952	

Plano Agregado – CD de Londrina

Com a previsão do Demand Guru	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Total
Dias	26	24	21	21	22	114
Unidades / trabalhador / mês	15.574	14.376	12.579	12.579	13.178	68.286
Previsão de demanda	3.714	72.775	201.665	235.920	179.156	693.230
Trabalhadores necessários	26	26	26	26	26	-
Trabalhadores disponíveis	13	26	26	26	26	-
Trabalhadores contratados	13	0	0	0	0	13
Custo de contratação	R\$ 15.652,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 15.652,00
Trabalhadores demitidos	0	0	0	0	0	0
Custo de demissão	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Trabalhadores utilizados	26	26	26	26	26	-
Custo da mão de obra	R\$ 84.207,07	R\$ 77.729,60	R\$ 68.013,40	R\$ 68.013,40	R\$ 71.252,13	R\$ 369.215,60
Capacidade de carregamento	404.924	373.776	327.054	327.054	342.628	1.775.436
Unidades carregadas	3.714	72.775	201.665	235.920	179.156	693.230
Unidades recebidas da planta de produção	180.000	180.000	180.000	123.563	72.713	736.276
Estoque	176.286	283.511	261.846	149.489	43.046	914.178
Custo de Armazenagem	R\$ 370.357,50	R\$ 504.388,75	R\$ 477.307,50	R\$ 336.861,25	R\$ 203.807,50	R\$ 1.892.722,50
Custo de falta	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custo Total	R\$ 470.216,57	R\$ 582.118,35	R\$ 545.320,90	R\$ 404.874,65	R\$ 275.059,63	R\$ 2.277.590,10

Com a previsão da empresa	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Total
Dias	26	24	21	21	22	114
Unidades / trabalhador / mês	15.574	14.376	12.579	12.579	13.178	68.286
Previsão de demanda	13.627	243.682	573.848	303.931	40.662	1.175.750
Trabalhadores necessários	52	52	52	52	52	-
Trabalhadores disponíveis	13	52	52	52	52	-
Trabalhadores contratados	39	0	0	0	0	39
Custo de contratação	R\$ 46.956,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 46.956,00
Trabalhadores demitidos	0	0	0	0	0	0
Custo de demissão	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Trabalhadores utilizados	52	52	52	52	52	-
Custo da mão de obra	R\$ 168.414,13	R\$ 155.459,20	R\$ 136.026,80	R\$ 136.026,80	R\$ 142.504,27	R\$ 738.431,20
Capacidade de carregamento	809.848	747.552	654.108	654.108	685.256	3.550.872
Unidades carregadas	13.627	243.682	573.848	303.931	40.662	1.175.750
Unidades recebidas da planta de produção	180.000	180.000	180.000	29.187	0	569.187
Estoque	886.373	822.691	428.843	154.099	113.437	2.405.443
Custo de Armazenagem	R\$ 1.257.966,25	R\$ 1.178.363,75	R\$ 686.053,75	R\$ 342.623,75	R\$ 291.796,25	R\$ 3.756.803,75
Custo de falta	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custo Total	R\$ 1.473.336,38	R\$ 1.333.822,95	R\$ 822.080,55	R\$ 478.650,55	R\$ 434.300,52	R\$ 4.542.190,95

Com 100% de assertividade	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Total
Dias	26	24	21	21	22	114
Unidades / trabalhador / mês	15.574	14.376	12.579	12.579	13.178	68.286
Previsão de demanda	17.270	71.080	75.757	265.410	150.456	579.973
Trabalhadores necessários	26	26	26	26	26	-
Trabalhadores disponíveis	13	26	26	26	26	-
Trabalhadores contratados	13	0	0	0	0	13
Custo de contratação	R\$ 15.652,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 15.652,00
Trabalhadores demitidos	0	0	0	0	0	0
Custo de demissão	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Trabalhadores utilizados	26	26	26	26	26	-
Custo da mão de obra	R\$ 84.207,07	R\$ 77.729,60	R\$ 68.013,40	R\$ 68.013,40	R\$ 71.252,13	R\$ 369.215,60
Capacidade de carregamento	404.924	373.776	327.054	327.054	342.628	1.775.436
Unidades carregadas	17.270	71.080	75.757	265.410	150.456	579.973
Unidades recebidas da planta de produção	139.636	71.080	75.757	180.000	113.500	579.973
Estoque	122.366	122.366	122.366	36.956	0	404.054
Custo de Armazenagem	R\$ 302.957,50	R\$ 302.957,50	R\$ 302.957,50	R\$ 196.195,00	R\$ 150.000,00	R\$ 1.255.067,50
Custo de falta	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custo Total	R\$ 402.816,57	R\$ 380.687,10	R\$ 370.970,90	R\$ 264.208,40	R\$ 221.252,13	R\$ 1.639.935,10

Plano Agregado – CD de Campos Novos

Com a previsão gerada pelo Forecast Pro	Agosto	Setembro	Outubro	Total
Dias	23	24	24	71
Unidades / trabalhador / mês	12.788	13.344	13.344	39.476
Previsão de demanda	89.792	253.794	96.911	440.497
Trabalhadores necessários	26	26	26	-
Trabalhadores disponíveis	0	26	26	-
Trabalhadores contratados	26	0	0	26
Custo de contratação	R\$ 17.212,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 17.212,00
Trabalhadores demitidos	0	0	0	0
Custo de demissão	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Trabalhadores utilizados	26	26	26	-
Custo da mão de obra	R\$ 647,04	R\$ 675,17	R\$ 675,17	R\$ 1.997,37
Capacidade de carregamento	332.488	346.944	346.944	1.026.376
Unidades carregadas	89.792	253.794	96.911	440.497
Unidades recebidas da planta de produção	90.000	90.000	37.501	217.501
Estoque	270.208	106.414	47.004	423.626
Custo de Armazenagem	R\$ 1.169.460,22	R\$ 460.559,79	R\$ 203.433,31	R\$ 1.833.453,33
Custo de falta	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custo Total	R\$ 1.187.319,26	R\$ 461.234,96	R\$ 204.108,48	R\$ 1.852.662,70

Com a previsão da empresa	Agosto	Setembro	Outubro	Total
Dias	23	24	24	71
Unidades / trabalhador / mês	12.788	13.344	13.344	39.476
Previsão de demanda	41.080	288.990	49.243	379.313
Trabalhadores necessários	26	26	26	-
Trabalhadores disponíveis	0	26	26	-
Trabalhadores contratados	26	0	0	26
Custo de contratação	R\$ 17.212,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 17.212,00
Trabalhadores demitidos	0	0	0	0
Custo de demissão	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Trabalhadores utilizados	26	26	26	-
Custo da mão de obra	R\$ 647,04	R\$ 675,17	R\$ 675,17	R\$ 1.997,37
Capacidade de carregamento	332.488	346.944	346.944	1.026.376
Unidades carregadas	41.080	288.990	49.243	379.313
Unidades recebidas da planta de produção	90.000	90.000	49.890	229.890
Estoque	318.920	119.930	120.577	559.427
Custo de Armazenagem	R\$ 1.380.285,76	R\$ 519.057,04	R\$ 521.857,26	R\$ 2.421.200,06
Custo de falta	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Custo Total	R\$ 1.398.144,80	R\$ 519.732,21	R\$ 522.532,42	R\$ 2.440.409,43

Com 100% de assertividade	Agosto	Setembro	Outubro	Total</
---------------------------	--------	----------	---------	---------



Alunos: Camyla Bezerra dos Santos, Felipe da Costa Lemos Barbosa, Gabriel Silveira Trovo, Gustavo Aroni Santana, Marcelo Victor Menezes Cypriano.

Orientador: Marcel Utiyama (MUTIYAMA@fei.edu.br)

CD de Londrina: Tabela de dados utilizada para o plano agregado nos cenários ideal e cenário com a previsão gerada pelo Demand Guru

Produção	599	unidades/trabalhador/dia
Custo de contratação	1.204	\$/trabalhador
Custo de armazenagem	1,25	\$/unidade/mês
Nro de trabalhadores no início	13	
Custo de subcontratação	400	\$/unidade
Estoque no início de outubro	0	unidades
Salários e benefícios	125	\$/trabalhador/dia
Custo de demissão	10.190	\$/trabalhador
Custo de falta	0	\$/unidade/mês
Turno de trabalho	9	horas
Custo de hora extra	110	\$/hora ou

CD de Londrina: Tabela de dados utilizada para o plano agregado no cenário com a previsão da empresa.

Produção	599	unidades/trabalhador/dia
Custo de contratação	1.204	\$/trabalhador
Custo de armazenagem	1,25	\$/unidade/mês
Nro de trabalhadores no início	13	
Custo de subcontratação	400	\$/unidade
Estoque no início de outubro	720.000	unidades
Salários e benefícios	125	\$/trabalhador/dia
Custo de demissão	10.190	\$/trabalhador
Custo de falta	0	\$/unidade/mês
Turno de trabalho	9	horas
Custo de hora extra	110	\$/hora ou

CD de Campos Novos: Tabela de dados utilizada para o plano agregado em todos os cenários.

Produção	556	unidades/trabalhador/dia
Custo de contratação	662	\$/trabalhador
Custo de armazenagem	4,33	\$/unidade/mês
Nro de trabalhadores no início	0	
Custo de subcontratação	400	\$/unidade
Estoque no início de agosto	270.000	unidades
Salários e benefícios	1,08	\$/trabalhador/unid
Custo de demissão	5.221	\$/trabalhador
Custo de falta	0	\$/unidade/mês
Turno de trabalho	9	horas
Custo de hora extra	55	\$/hora

Custos do Planejamento Agregado para o CD de Londrina

Cenário	Custo de contratação	Custo de mão de obra	Custo de armazenagem	Custo total
Ideal	R\$ 15.652,00	R\$ 369.215,60	R\$ 1.255.067,50	R\$ 1.639.935,10
Com a previsão gerada pelo Demand Guru	R\$ 15.652,00	R\$ 369.215,60	R\$ 1.892.722,50	R\$ 2.277.590,10
Com a previsão da empresa	R\$ 46.956,00	R\$ 738.431,20	R\$ 3.756.803,75	R\$ 4.542.190,95

Fonte: Autor (2024)

Custos do Planejamento Agregado para o CD de Campos Novos

Cenário	Custo de contratação	Custo de mão de obra	Custo de armazenagem	Custo total
Ideal	R\$ 8.606,00	R\$ 998,69	R\$ 707.004,77	R\$ 716.609,45
Com a previsão gerada pelo Demand Guru	R\$ 17.212,00	R\$ 1.997,37	R\$ 1.833.453,33	R\$ 1.852.662,70
Com a previsão da empresa	R\$ 17.212,00	R\$ 1.997,37	R\$ 2.421.200,06	R\$ 2.440.409,43

Fonte: Autor (2024)

Para ambos os CDs, há uma **melhora expressiva** através da utilização de **algoritmos do Demand Guru e Forecast Pro.**

Inovação:

- **Realização da previsão de demanda através de métodos de previsão avançados e técnicas de Machine Learning.**

No cenário atual, a previsão da empresa é feita através de **um método baseado na experiência e julgamento dos especialistas responsáveis**

No entanto, como o produto abordado são grãos, especificamente o **milho e a soja**, existem diversos fatores que podem impactar nesta previsão, como **fatores climáticos e elasticidade de preço.**

Diante disto, e após analisar o comportamento irregular da demanda, optou-se pela **utilização de métodos avançados de previsão de demanda e técnicas de Machine Learning** que podem melhorar a assertividade das previsões, reduzindo o índice de erro atual da empresa.

- **Adaptação do planejamento agregado para um centro de distribuição ao invés de uma planta de produção.**

Houve uma adaptação do planejamento agregado tradicional, pois, diferente do comum, **o plano agregado está sendo feito para um CD e não para uma fábrica**, ou seja, **não há capacidade de produção ou unidades produzidas.** Portanto, houve uma **substituição para capacidade de carregamento e unidades carregadas.**

Foi **feito o MPS para a fábrica** utilizando a previsão de demanda e os pedidos em carteira, e a seguir, **foi feito o plano agregado para os CDs, onde houve a inserção da linha de unidades recebidas da planta de produção.**

Essas unidades são a linha do MPS, que são de fato transportadas para os CDs após a fabricação. Desse modo, **o cálculo do estoque também muda, no primeiro mês será as unidades recebidas da planta mensalmente subtraindo as unidades que são carregadas mensalmente**, e nos próximos meses há a **adição do estoque anterior no cálculo.**

Benefícios Observados:

Redução de custos:

- CD Londrina: **51,11%** (R\$ 4.5M ➔ R\$ 2.4M)
- CD Campos Novos: **25,00%** (R\$ 2.4M ➔ 1.8M)

Redução da ociosidade:

- CD Londrina: **78%** ➔ **59%**
- CD Campos Novos: **75%** ➔ **57%**

Redução de MAPE:

- CD Londrina: **201,8%** ➔ **55,5%**
- CD Campos Novos: **59,8%** ➔ **39,9%**

Redução de custos com estoques de armazenagem:

- CD Londrina: **R\$ 1.8M**
- CD Campos Novos: **R\$ 588 Mil**

Redução de custos com mão de obra e contratação:

- CD Londrina: mão de obra (**R\$ 369 mil**) e contratação (**R\$ 31 mil**)
- CD Campos Novos: Não houve alteração

Resultados Alcançados:

- Técnicas de previsão de demanda e ML mostraram-se **mais precisas**, além de obter uma **melhor resposta a variações sazonais e de mercado**;
- Há uma **correlação positiva** entre a **precisão das previsões e a redução da ociosidade**;
- Houve uma **melhora na gestão de estoque, definição do momento de produção e execução do S&OP**;
- Pesquisas futuras podem **explorar a correlação entre fatores climáticos e precisão das previsões.**