

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Pós Graduação Business Intelligence Master

APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO PARA
ESTIMATIVA DA DATA DE CONCLUSÃO DE UMA CAMPANHA DE
OBRAS OFFSHORE

Aluno: Matheus Sepulveda Peres Monteiro (<https://github.com/matheusspm>)

Orientador: Felipe Borges (<https://github.com/FelipeBorgesC>)

Resumo

Este trabalho teve o objetivo de aplicar o método da Simulação de Monte Carlo, fazendo uso da estatística para fazer uma previsão da data mais provável para o término de uma campanha de obras offshore. Para tanto foi proposta a padronização dos dados inseridos no cronograma de acompanhamento da obra no MS Project, com o intuito de coletar de forma confiável a duração real dos serviços e a conversão dos dados para o EXCEL, onde a simulação foi realizada. Além disto foram feitas comparações entre as informações referentes a duração, velocidade e serviços em andamento, para verificar se as premissas da Lei de Little utilizada no Kanban estavam sendo alcançadas, uma vez que o modelo proposto seguiu parte dessas premissas. Por fim foi aplicado o modelo com base em dados históricos, de modo a estimar a data mais provável de conclusão, obtendo um resultado muito semelhante ao obtido na realidade.

Palavras-chave: Simulação de Monte Carlo, Campanha de Obras, EXCEL, Kanban, Previsão.

Abstract keywords

This work aimed to apply the Monte Carlo Simulation method, making use of statistics to forecast the most likely date for the end of an offshore works campaign. Therefore, it was proposed to standardize the data entered in the work monitoring schedule using MS Project, in order to reliably collect the services real duration and the of data conversion to EXCEL, in which the simulation was carried out. In addition, comparisons were made between information regarding lead time, throughput and work in progress, to verify whether the premises of Little's Law used in Kanban were being met, since the proposed model followed part of these premises. Finally, the model based on historical data was applied, in order to estimate the most probable date of completion, obtaining a result very similar to that obtained in reality.

Keywords: Monte Carlo Simulation, Works Campaign, EXCEL, Kanban, Forecast.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
2. MODELAGEM DO PROBLEMA	3
2.1 Duração Esperada	3
2.2 WIP (Work in Progress) ou N° de Serviços em Andamento	5
2.3 Throughput ou Velocidade	6
3. ESTUDO DE CASO	9
4. RESULTADOS	12
5. CONCLUSÕES	15

1. INTRODUÇÃO

No ramo de execução de projetos de grande porte, uma das variáveis imprescindíveis para a análise de desempenho é o prazo, porém a forma como ele é tratado muitas vezes leva a um processo de tomada de decisão ineficaz. Isto se dá pelo fato de vários gestores tratarem a previsão de prazo como algo estático ao longo do ciclo de vida dos projetos.

O que vemos em praticamente todos os projetos, independente do seu escopo, é que mudanças ocorrem em muitos momentos, mesmo em ambientes bem estáveis. Sendo assim, sempre que essas mudanças ocorrerem, é preciso que tenhamos a capacidade de analisar o risco gerado pelas mesmas e seus possíveis impactos no resultado.

Tendo um foco na estimativa de prazos com base nos resultados obtidos ao longo da execução dos projetos, foi proposto o uso da Simulação de Monte Carlo para avaliar o risco de atingirmos determinada meta de prazo. Para testar a capacidade de previsão do modelo foi realizado um estudo de caso numa contingência ocorrida numa das plataformas localizadas na Bacia de Campos.

Entende-se como contingência uma espécie de força tarefa que envolve a coordenação de esforços de diversas gerências, com o intuito de atingir um objetivo comum bem específico. No caso deste estudo, o objetivo era fazer com que a plataforma retomasse a sua produção até o dia 26/09/2021.

As informações que foram levantadas com base nos resultados obtidos na Simulação de Monte Carlo e no cálculo de Prazo com base na Velocidade Média auxiliaram o processo decisório, uma vez que foi mostrado de forma mais clara para os gestores a importância de limitar o escopo da contingência somente ao que realmente é importante para o atendimento do objetivo e em como que alterações desnecessárias podem impactar a capacidade de cumprir o prazo estabelecido.

2. MODELAGEM DO PROBLEMA

Com o intuito de aplicar a Simulação de Monte Carlo (KARGER & STEIN, 1996) ao estudo de caso, foi proposto o seguinte cálculo para estimar o prazo de cada simulação:

$$Duração\ Restante = \frac{\sum_{1}^n Duração\ Esperada}{N^o\ Médio\ de\ Serviços\ em\ Andamento}$$

Sendo “n” o número de Serviços Restantes e “t” o número de períodos (em dias) transcorridos desde a data inicial da avaliação até a data atual. É importante ressaltar que o denominador é o mesmo que a média aritmética do N° de Serviços em Andamento (ou frentes de trabalho) por Período.

O N° de Serviços em Andamento foi calculado considerando todos os serviços com data de início menor ou igual a data de status (momento da análise) e com data de término maior ou igual a data de status. Já a sua média foi calculada através de uma média aritmética simples, ou seja, soma dos N° de Serviços em Andamento de todos os períodos levantados, dividido pelo número de períodos.

No modelo proposto para este trabalho, a Duração Restante foi calculada 1000 vezes de acordo com uma distribuição de probabilidades baseada em Durações Reais de serviços concluídos e no número de Serviços Restantes com valor menor ou igual a 1300 no caso do arquivo que foi utilizado para o cálculo. Tanto o número de simulações quanto o número de serviços podem ser alterados de acordo com a necessidade.

2.1 Duração Esperada

Para o cálculo da Duração Esperada foi utilizada uma distribuição de probabilidades de acordo com as Durações Reais de serviços concluídos ao longo de, no mínimo, de 14 dias. Para uma análise cujo número de períodos seja inferior a duas

semanas, foi proposta a utilização de uma distribuição histórica, obtida através do uso de dados de cronogramas que envolviam serviços de porte semelhante.

Através da distribuição de Durações Reais, foram utilizadas 2 funções do EXCEL para a estimativa da Duração Esperada: ALEATÓRIO e PROCV. A função ALEATÓRIO gera um número entre 0 e 1 com distribuição uniforme e a função PROCV utilizaria o número gerado pela função anterior para determinar a Duração Esperada, de acordo com a distribuição de probabilidades levantada.

Segue abaixo a tabela contendo a distribuição de probabilidades para durações de serviço, disponível no dia 21/09/2021:

Tabela 1: Distribuição de Probabilidades para cada Lead Time (Duração).

PROBABILIDADE	DURAÇÃO
0,0%	3 h
7,1%	4 h
15,0%	6 h
22,1%	9 h
22,1%	13 h
27,4%	19 h
37,2%	28 h
45,1%	42 h
54,9%	63 h
67,3%	94 h
72,6%	141 h
84,1%	211 h
90,3%	316 h
96,5%	474 h
100,0%	711 h
100,0%	1066 h
100,0%	1599 h
100,0%	2398 h
100,0%	3597 h
100,0%	5395 h
100,0%	8092 h

Sendo assim a fórmula para a Duração Esperada, no EXCEL, ficou da seguinte forma:

$$Duração Esperada = PROCV(ALEATÓRIO(); Distribuição de Probabilidades; Duração)$$

Para gerar um modelo padrão de distribuição de probabilidades para o caso deste estudo bem como para os dados que serão retirados de outros cronogramas no futuro, foi proposta uma escala que inicia com serviços de duração até 3h e para os valores seguintes foi multiplicado o valor anterior por 1,5 e o resultado arredondado para baixo.

Por exemplo: sendo o primeiro valor da escala igual a 3h, o valor seguinte será igual a 3 vezes 1,5, resultando em 4,5, que arredondado para baixo se torna 4, por sua vez 4 multiplicado por 1,5 resulta em 6 (que já é inteiro e não precisa ser arredondado) e assim sucessivamente.

2.2 WIP (*Work in Progress*) ou N° de Serviços em Andamento

Para o cálculo do WIP inicialmente foi considerado não utilizar as datas iguais às datas de status, porém verificou-se que ao fazer isto, o número de serviços em andamento ficava muito menor do que a quantidade de serviços que tiveram recursos alocados numa determinada data, pois alguns serviços poderiam ser finalizados em apenas um dia, ou serviços finalizados ou iniciados em na data de status acabariam não sendo considerados.

Foi feita uma análise para verificar se o N° de Serviços em Andamento estaria coerente com a premissa determinada pela Lei de Little (ANDERSON & CARMICHAEL, 2014) que pode ser representada pela seguinte fórmula:

$$Lead\ Time = \frac{WIP}{Throughput}$$

Ou seja, foi verificado que o aumento do N° de Serviços em Andamento (WIP – *Work in Progress*) leva a um aumento da Duração do Serviço (*Lead Time*). Para isto foi calculada a Correlação entre a variação da média dessas duas variáveis ao longo do tempo, obtendo o seguinte resultado para o período de 01/08/2021 à 21/09/2021, sendo

que o eixo X representa o número de Serviços em Andamento (WIP) e o eixo Y representa o Lead Time, ou duração total do serviço:

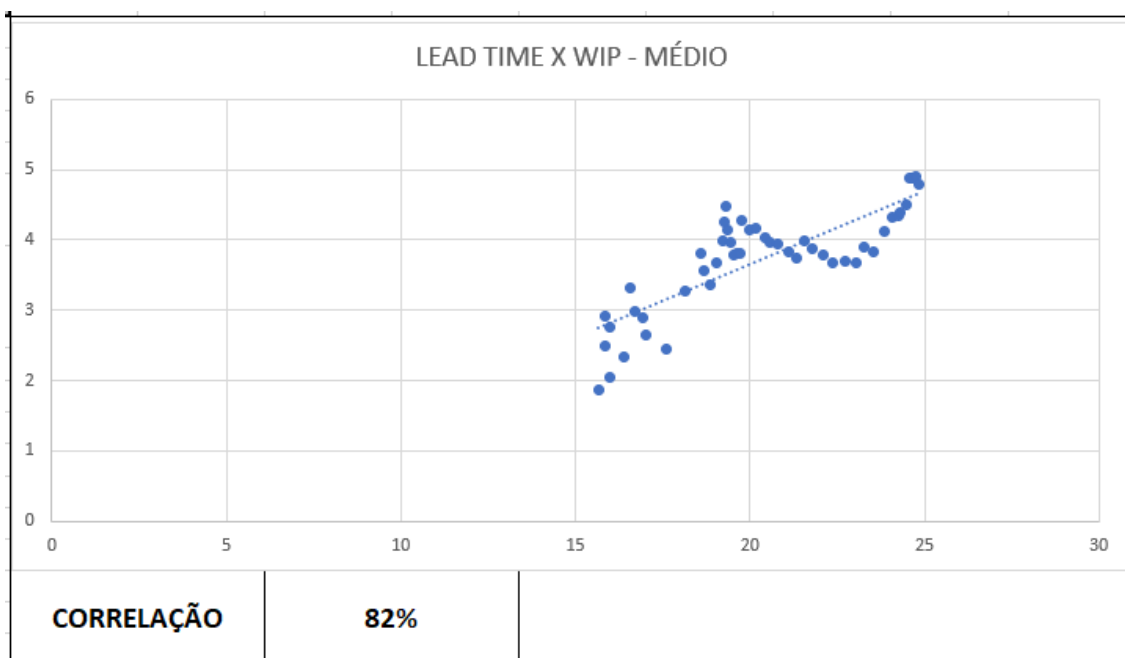


Figura 1: Relação entre a Média do Lead Time (Duração) e do WIP (Nº de Serviços em Andamento) de 01/08/2021 à 21/09/2021.

Como pode ser verificado acima, a correlação é bem forte como previsto pela Lei de Little, apesar de não entrarmos aqui na relação de causalidade. Desta forma foi tomado como premissa que o número de serviços em andamento não iria aumentar numa proporção tal que reduzisse muito a estimativa de Duração Restante, pois o aumento desta variável estaria correlacionado ao aumento da Duração Real dos serviços.

2.3 *Throughput* ou Velocidade

Outra variável que foi considerada no modelo foi o *Throughput* ou Nº de Serviços Concluídos por Unidade de Tempo, ou ainda Velocidade de Entrega. Esta variável é muito utilizada para estimativa de prazos em métodos ou frameworks de gerenciamento ágeis como o Scrum (SUTHERLAND, 2014) e Kanban (ANDERSON

& CARMICHAEL, 2016), que difere bastante da abordagem predominantemente preditiva normalmente utilizada na realização de projetos de construção.

A utilização desta variável é recomendável como um contraponto ao prazo mostrado em cronogramas, pois ela é muito mais dinâmica, e demonstra um resultado de acordo com a produtividade real até determinado momento.

Nem sempre o cronograma é capaz de capturar essas nuances, tendendo a demonstrar uma alteração de prazo muito menor do que a informada com base no desempenho verificado. Isto se dá pelo fato desta ferramenta estar muito mais associada a uma abordagem preditiva, menos flexível a mudanças de cenário. Além disso, a qualidade das previsões feitas pelo cronograma está muito ligada à capacidade dos profissionais que o atualizam em capturar o que realmente vem acontecendo nas obras.

Já a variável Velocidade de Entrega (ou *Throughput*) é fácil de medir e de ser verificada no dia a dia, sendo menos limitada a um controle de cronograma apurado e mais facilmente compreendida por todos, o que facilita o processo decisório.

Como já foi informado, a Velocidade de Entrega ou *Throughput* também faz parte da Lei de Little porém, ao contrário do WIP, ela é inversamente proporcional ao Lead Time (ou seja, na média, se o *Throughput* é maior, o *Lead Time* dos serviços tende a ser menor).

A correlação entre essas variáveis também foi verificada ao longo do tempo, porém foi verificado um valor menor do que a Correlação entre *Lead Time* e WIP.

O resultado para o mês de agosto foi bem consistente, ou seja, a Duração era inversamente proporcional a Velocidade de Entrega. Porém a partir de 08/09/2021 houve uma alteração considerável no comportamento desta variável, o que pode ter levado a redução da correlação. Ao considerar o período de Agosto a Setembro, levando em conta o período de mudança, a correlação foi bem menor do que se considerado apenas o mês de agosto, período no qual a velocidade se manteve praticamente constante.

Seguem os resultados considerando somente o mês de Agosto e considerando o período de 01/08/2021 à 21/09/2021 (com *Throughput* no eixo X e *Lead Time* no eixo Y):

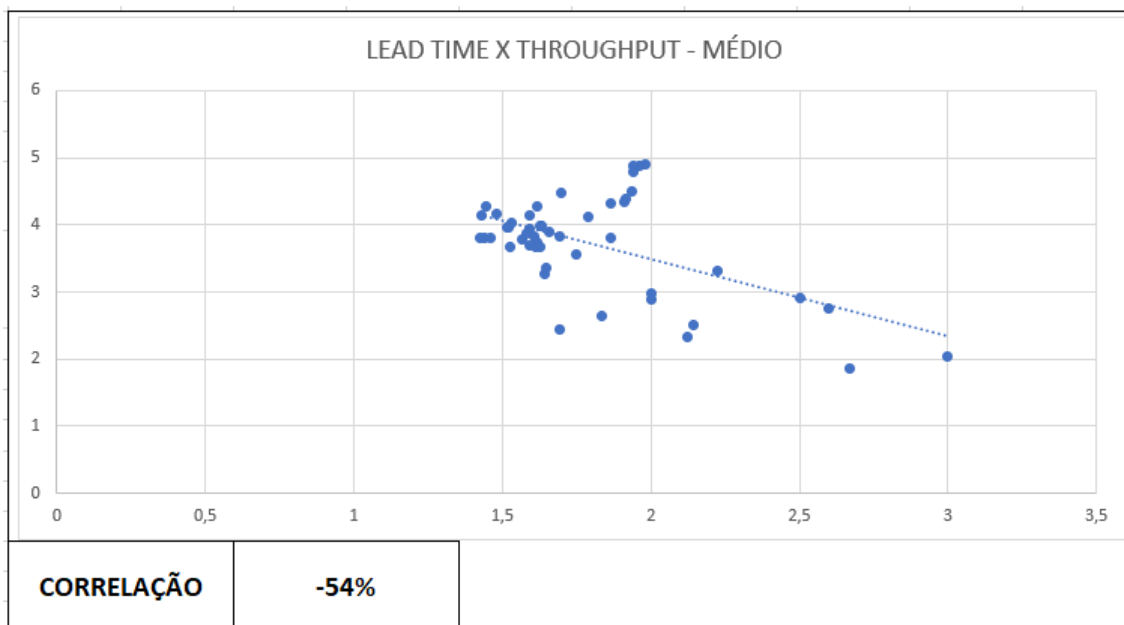


Figura 2: Relação entre a Média do *Lead Time* (Duração) e do *Throughput* (Nº de Serviços Concluídos ao longo do Tempo ou Velocidade de Entrega) de 01/08/2021 à 21/09/2021.

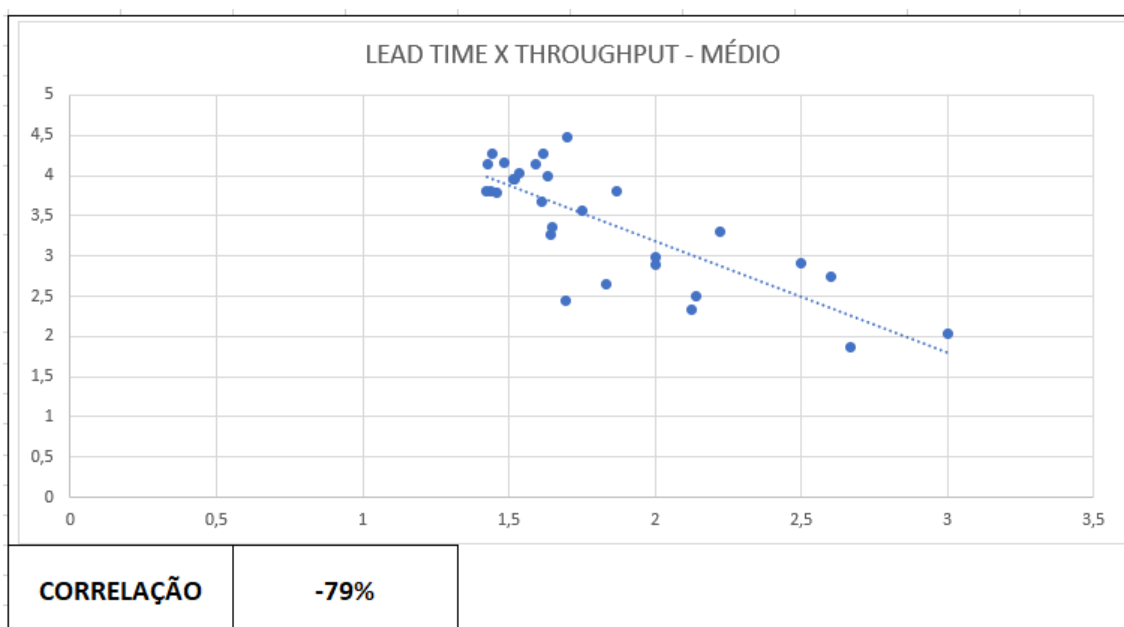


Figura 3: Relação entre a Média do *Lead Time* (Duração) e do *Throughput* (Nº de Serviços Concluídos ao longo do Tempo ou Velocidade de Entrega) de 01/08/2021 à 31/08/2021.

A Velocidade de Entrega pode também ser utilizada para o cálculo da Duração Restante a partir da seguinte fórmula:

$$\text{Duração Restante} = \frac{\text{Nº de Serviços Pendentes}}{\text{Velocidade Média}}$$

Alternativamente pode ser também utilizada a Média Móvel da Velocidade, quando for verificado que houve alguma alteração considerável no comportamento desta variável ao longo do tempo (caso ocorrido a partir do dia 08/09/2021).

A estimativa da Duração Restante com base na Velocidade, assim como a previsão determinada na Linha de Base do Cronograma foram constantemente comparadas aos resultados obtidos da Simulação de Monte Carlo, de modo a avaliar o risco de se atingir o objetivo proposto, ou seja, operacionalizar a plataforma até o dia 26/09/2021.

3. ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso focou na execução de serviços relacionados a uma contingência em uma plataforma na Bacia de Campos, com o intuito de fazer com que a plataforma pudesse retomar sua operação até o dia 26/09/2021, que foi o prazo previsto na linha de base do cronograma estabelecida em 01/08/2021.

Na fase pré estudo o cenário da contingência era um tanto pessimista pois, apesar da grande importância da execução dos serviços necessários, havia um problema de falta de liderança, excesso de controles que não auxiliavam a tomada de decisão, falta de determinação e priorização do que realmente precisava ser feito.

Depois de determinada a nova liderança que daria apoio a execução dos serviços, foi decidida uma forma de padronizar o acompanhamento dos serviços a serem executados, bem como centralização das informações relevantes em apenas um controle, visível, fácil de entender e ao alcance de todos. Este controle foi um

cronograma, porém ajustado de uma forma que refletisse da melhor maneira possível a realidade na qual se encontrava a campanha de contingência.

Para tanto foi determinado um método de atualização capaz de informar a situação real de cada tarefa de cada serviço com uma precisão de horas e foi fomentada a cultura de padronização da atualização dos dados e das informações que precisariam ser atualizadas todos os dias.

Devido à qualidade dos dados gerados através deste cronograma, foi possível gerar um relatório de BI que auxiliou bastante a tomada de decisão, bem como gerar a Simulação de Monte Carlo que é foco deste trabalho. Os resultados destas duas ferramentas foram constantemente analisados para avaliar a consistência dos resultados, bem como as consequências das ações que foram tomadas ao longo do período de estudo.

O estudo foi iniciado no dia 01/08/2021 e finalizado no dia 30/09/2021, porém os dados utilizados na simulação de Monte Carlo para este trabalho se referem até 21/09/2021, visto que depois desta data não tivemos muitas alterações nas variáveis utilizadas no estudo, além do fato de ser um período muito próximo a data de término, ou seja, qualquer decisão tomada após esta data dificilmente alteraria o resultado final obtido.

A Simulação de Monte Carlo começou a ser utilizada no dia 09/08/2021 com base nos dados de outras 3 campanhas cujos cronogramas foram disponibilizados para comparação. Segue abaixo a comparação entre a distribuição de probabilidades entre o cronograma do estudo (em azul) e a média dos outros cronogramas analisados (em laranja):

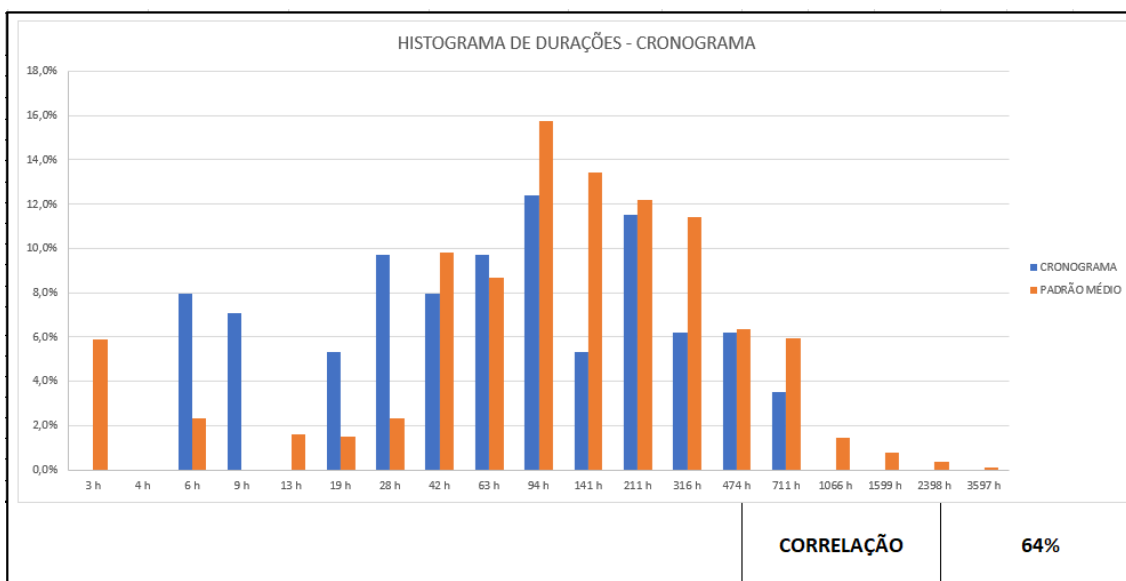


Figura 4: Comparação da Distribuição de Probabilidades entre o Cronograma do Estudo e outros Cronogramas analisados.

Como pode ser verificado na figura acima, a correlação não é alta, mas certamente não é insignificante. De qualquer forma, a distribuição em laranja só foi utilizada até o dia 14/08/2021, depois disto optou-se utilizar a distribuição com base nos dados reais obtidos através do cronograma.

Inicialmente o número de serviços previstos para possibilitar o retorno à operação da plataforma seria 82, porém até o dia 21/09/2021 foram acrescidos diversos serviços, sendo que contando apenas aqueles necessários para o retorno a operação, foram totalizados 127 ao final deste estudo.

É importante ressaltar que, para o escopo deste trabalho, o risco de acréscimo de serviços ao longo da Contingência não foi considerado na Simulação de Monte Carlo, mas sim apenas os serviços restantes para cada período de tempo. Em contrapartida, o risco de acréscimo de escopo foi considerado no relatório de BI gerado em paralelo.

Para futuras aplicações deste modelo poderá ser considerada a utilização de um fator de, pelo menos 1,3 no total de serviços previstos no início da campanha, para contabilizar o risco de acréscimo de escopo, o que não é raro de ocorrer.

4. RESULTADOS

Para a análise dos resultados, foram comparadas as probabilidades de atendimento do prazo determinado na linha de base (26/09/2021) e de atender o prazo estimado com base no critério de Velocidade. Segue o comparativo das semanas entre 17/08/2021 e 21/09/2021, colocando no fim o resultado real obtido em 30/09/2021:

Tabela 2: Resultados obtidos ao longo do estudo.

	Total de Serviços Previstos	Serviços Restantes	Velocidade Média	Prazo com Base na Velocidade	Probabilidade de Atendimento Velocidade	Probabilidade de Atendimento 26/09/2021
17/08/21	94	55	1,65	19/09/21	99,90%	100%
24/08/21	94	48	1,46	25/09/21	98,90%	100%
31/08/21	132	74	1,52	18/10/21	100%	19,50%
07/09/21	136	67	1,53	20/10/21	100%	21,90%
14/09/21	139	42	1,91	05/10/21	97,40%	17,20%
21/09/21	127	14	1,96	28/09/21	84%	48,10%
30/09/21	127	0	2,04	30/09/21	100%	100%

Como pode ser visto acima, ao longo de agosto havia certo otimismo por parte da liderança da empresa em relação a capacidade de atender a data limite determinada. No final do mês de Agosto já era possível constatar que a chance de atender este prazo era mínima, a menos que algo fosse feito, a despeito das projeções do cronograma naquele momento (ao longo de praticamente todo o período de estudo o cronograma indicava uma data de término próxima a data limite).

Podemos ver que tanto na Simulação de Monte Carlo como através do cálculo com base na Velocidade, as chances de atendimento do objetivo caiu consideravelmente, principalmente devido ao grande acréscimo de escopos ocorrido no final de Agosto.

Com base nos resultados obtidos foram tomadas duas ações principais que acabaram alterando o curso da contingência em direção a um resultado aceitável:

- 1- Revisão do Escopo dos serviços restantes, verificando quais serviços não eram críticos para o retorno e postergando para o pós-retorno serviços menos prioritários.

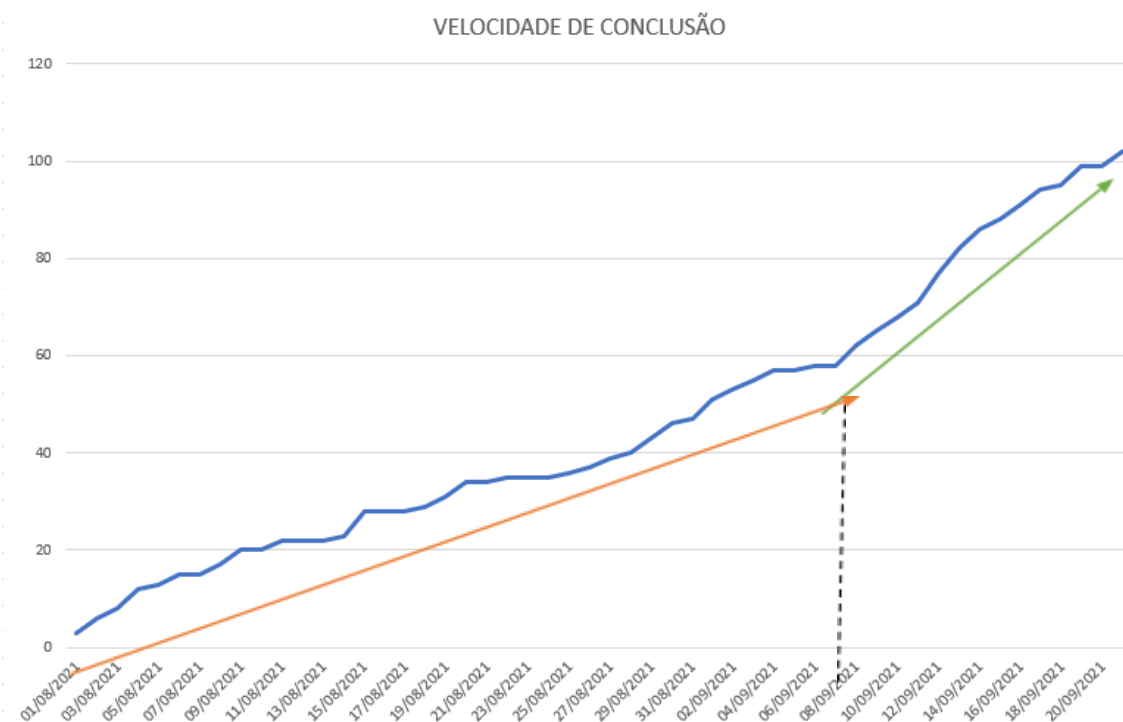
- 2- Embarque do Gerente no dia 08/09/2021 para tratar *in loco* todos os impedimentos que estavam ocorrendo e que levavam a um aumento da Duração dos serviços e redução da Velocidade de Entrega.

Através dessas ações, em conjunto com outras que fogem ao escopo deste trabalho, foi possível verificar uma mudança drástica na variável “Velocidade”. Já as projeções da Simulação de Monte Carlo também começaram a mostrar um resultado mais favorável, dada a redução de escopo prioritário. No dia 21/09/2021 a probabilidade de atender a data real do retorno de 30/09/2021 era de 97,40%, enquanto que atender o prazo da linha de base de 26/09/2021 era de 48,10%.

Segue abaixo a relação de probabilidades no dia 21/09/2021, considerando 127 serviços a serem entregues no total e o gráfico mostrando a diferença do comportamento da Velocidade de Entrega antes e depois de 08/09/2021.

Tabela 3: Probabilidade de Atendimento a Data de Término em 21/09/2021.

PROBABILIDADE	DURAÇÃO RESTANTE	DATA DE TÉRMINO
48,10%	5 d	26/09/2021
68,80%	6 d	27/09/2021
84,00%	7 d	28/09/2021
94,00%	8 d	29/09/2021
97,40%	9 d	30/09/2021
99,20%	10 d	01/10/2021
99,70%	11 d	02/10/2021
99,90%	12 d	03/10/2021
100,00%	13 d	04/10/2021

**Figura: Comparação da Velocidade Média Antes e Depois de 08/09/2021.**

5. CONCLUSÕES

A Simulação de Monte Carlo se mostrou uma ótima ferramenta para estimativa de prazos nas condições apresentadas neste estudo, que inclusive foi possível utilizar conceitos como WIP (Work in Progress ou Serviços em Andamento) e Throughput (Velocidade de Entrega) como parâmetros de apoio a análise e cálculo do prazo. Através dos resultados apresentados nos relatórios disponibilizados foi possível aumentar o foco da equipe em direção ao alcance dos resultados esperados, bem como evitar um comportamento complacente em relação a indicadores vistos de forma isolada.

Apesar do prazo do dia 26/09/2021 não ter sido alcançado, foi possível atingir o objetivo no dia 30/09/2021, o que foi algo surpreendente dados os resultados verificados no final de Agosto/2021 e ao aumento de escopo de 54% (127) em relação ao número de serviços inicialmente previsto (82).

Até Agosto/2021 diversos membros da equipe e da liderança pareciam demonstrar uma atitude complacente em relação aos resultados verificados até então, visto que só levavam em conta o que o Cronograma informava, sem considerar que a data final informada nesta ferramenta seria apenas uma das diversas possibilidades. Para o atendimento do prazo do cronograma era necessário o cumprimento de uma série de premissas que, ao longo do tempo, não estavam sendo cumpridas, tal como a Velocidade de Entrega.

Demonstrar para os gestores de forma clara a redução das chances de atendimento da data alvo a ser alcançada tanto através da Velocidade quanto da Simulação de Monte Carlo auxiliou na mudança de postura dos envolvidos, o que contribuiu para o resultado positivo alcançado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, D. & CARMICHAEL, A. Essential: kanban Condensed. 1ª Ed. Seattle: Lean Kanban University Press, 2016.

KARGER, D. & STEIN, C. A new approach to the minimum cut problem. Journal of ACM, Volume 43, Issue 4, pp 601–640. July, 1996.
DOI:<https://doi.org/10.1145/234533.234534>

SUTHERLAND, J. SCRUM: A arte de fazer o dobro de trabalho na metade do tempo. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Sextante, 2014.