



ROGÉRIO FERRAZ CRUZ

**PROPOSTA DE USO DO *EARNED DURATION*
MANAGEMENT (EDM) PARA ANÁLISE DE DESEMPENHO
DE PRAZO EM OBRAS DE CONSTRUÇÃO PESADA**

Trabalho apresentado ao curso MBA em Gerenciamento de Projetos, Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management da Fundação Getúlio Vargas, como pré-requisito para a obtenção do Título de Especialista.

Edmarson Bacelar Mota

Coordenador Acadêmico Executivo

Gianfranco Muncinelli

Orientador

Curitiba – PR

2016

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS

PROGRAMA FGV MANAGEMENT

MBA EM GERENCIAMENTO DE PROJETOS

O Trabalho de Conclusão de Curso, **Proposta de uso do *Earned Duration Management (EDM)* para análise de desempenho de prazo em obras de construção pesada**, elaborado por Rogério Ferraz Cruz e aprovado pela Coordenação Acadêmica, foi aceito como pré-requisito para a obtenção do certificado do Curso de Pós-Graduação *lato sensu* MBA em Gerenciamento de Projetos, Nível de Especialização, do Programa FGV Management.

Data da Aprovação: Curitiba, 2 de Março de 2016.

Edmarson Bacelar Mota

Coordenador Acadêmico Executivo

Gianfranco Muncinelli

Orientador

TERMO DE COMPROMISSO

O aluno Rogério Ferraz Cruz, abaixo assinado, do curso de MBA em Gerenciamento de Projetos, Turma GP38-Curitiba (1/2014) do Programa FGV Management, realizado nas dependências da instituição conveniada ISAE, no período de 24/02/2014 a 21/11/2015, declara que o conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Proposta de uso do *Earned Duration Management (EDM)* para análise de desempenho de prazo em obras de construção pesada”, é autêntico e original.

Curitiba, 4 de fevereiro de 2016



Rogério Ferraz Cruz

Resumo

Obras de construção pesada são exemplos de projetos de grande risco e que, por isso, precisam de medidas consistentes para análise de desempenho. Este trabalho apresenta uma proposta de análise de desempenho de prazos em obras de construção pesada, setor em que atrasos geram impactos econômicos muito significativos. O modelo proposto está baseado em um estudo muito recente, cujo resultado foi a criação de uma ferramenta com um novo conceito de monitoramento e controle de prazo para projetos, baseado em duração, denominado *Earned Duration Management (EDM)*, ou Gerenciamento da Duração Agregada (GDA). O método surge em razão das limitações existentes nos indicadores de desempenho de prazo do *Earned Value Management (EVM)*, ou Gerenciamento do Valor Agregado (GVA), que é um método muito difundido e de grande aceitação, embora se reconheça que o *EVM* apresenta resultados duvidosos em algumas situações de análise de desempenho em prazo. Uma parcela relevante dos estudiosos de gerenciamento de projetos questiona o uso do *EVM* para análise de desempenho de prazos, principalmente pelo fato de o modelo ser conceituado com base em valores financeiros. Isto é, é questionado o fato de se utilizar de medidas de desempenho financeiras para refletir o desempenho de prazo dos projetos. O modelo proposto tem fundamentação no *EDM*, que desacopla os aspectos de prazo e custo para análise de desempenho. Ainda, é feita uma modificação para considerar, ponderadamente, o efeito da criticidade diferenciada de cada atividade, tomando a folgas total de cada atividade como parâmetro para medir a relevância em relação a prazo.

Palavras Chave: Prazo. Análise de Desempenho. Duração Agregada. Criticidade.

Abstract

Heavy construction works are types of projects with high level of risk and, therefore, need consistent measures for performance analysis. This paper presents a proposal for performance analysis in heavy construction works, field of work where delays lead to very expressive economic impacts. The proposed model is based on a very recent study, which resulted in the creation of a tool with a new concept of monitoring and schedule control for projects, based on duration, called Earned Duration Management (EDM). The method arises from of the limitations that existing in schedule performance indicators, in Earned Value Management (EVM) method, which is a widespread and widely accepted method, although it is recognized that the EVM displays questionable results when in some schedule performance analysis. A significant part of project management stakeholders criticizes the EVM method to schedule performance analysis, mainly because of financial concept. In other words, the question is the fact of financial performance measures have been used to reflect the schedule performance of the projects. The proposed model is based on the EDM method, in which decouples cost and schedule performance measures. Furthermore, this work introduces a change towards consider criticality of each activity, taking the total float as a parameter to measure the relevance, in schedule impact terms.

Key Words: Schedule. Performance Analysis. Earned Duration. Criticality.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: INFOGRÁFICO DO REFLEXO DOS ATRASOS EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA.....	11
FIGURA 2: GRÁFICO CONCEITUAL DO <i>EARNED VALUE MANAGEMENT (EVM)</i> , COM REPRESENTAÇÃO DO <i>EARNED SCHEDULE (ES(T))</i>	13
FIGURA 3: GRÁFICO CONCEITUAL DO <i>EARNED DURATION MANAGEMENT (EDM)</i>	20
FIGURA 4: A INFLUÊNCIA DO PARÂMETRO <i>K</i> NA FUNÇÃO PARA A CRITICIDADE	25
FIGURA 5: EXEMPLO CONCEITUAL DE UMA CURVA <i>RUNDOWN</i>	27
FIGURA 6: ANÁLISE DE DESEMPENHO NA SEMANA #9, PELO <i>EDM</i>	28
FIGURA 7: GRÁFICO DA FUNÇÃO DE CRITICIDADE PARA A OBRA EXEMPLO.....	30
FIGURA 8: ANÁLISE DE DESEMPENHO NA SEMANA #9, PELO <i>EDM'</i>	31
FIGURA 9: COMPARATIVO <i>EDM X EDM' – TPD</i>	33
FIGURA 10: COMPARATIVO <i>EDM X EDM' – TED</i>	33
FIGURA 11: COMPARATIVO <i>EDM X EDM' – DPI</i>	34
FIGURA 12: COMPARATIVO <i>EDM X EDM' – EDI</i>	34

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: EXEMPLO DE ANÁLISE DE CRITICIDADE DE CAMINHOS.....	22
TABELA 2: ÍNDICES DE CRITICIDADE PARA A OBRA EXEMPLO.....	30
TABELA 3: COMPARATIVO DOS RESULTADOS PELO <i>EDM</i> E <i>EDM'</i>	32

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. O PRAZO E A CONSTRUÇÃO PESADA	10
3. CONTROLE DE PRAZO PELO <i>EARNED VALUE MANAGEMENT (EVM)</i>.....	12
4. CONTROLE DE PRAZO PELO <i>EARNED DURATION MANAGEMENT (EDM)</i> .	15
4.1 CONCEITOS E NOTAÇÕES DO EDM.....	15
4.1.1 NÍVEL “MICRO” (<i>INSTÂNCIA DAS ATIVIDADES</i>).....	15
4.1.2 NÍVEL “MACRO” (<i>INSTÂNCIA DO PROJETO</i>).....	16
4.2 MEDIÇÃO DE DESEMPENHO EM PRAZO NO <i>EDM</i>	17
4.2.1 INDICADORES DE DESEMPENHO EM NÍVEL “MICRO”	17
4.2.2 INDICADORES DE DESEMPENHO E PROGRESSO EM NÍVEL “MACRO”	18
4.3 PREVISÕES	20
5. ATIVIDADES CRÍTICAS.....	21
6. METODOLOGIA	23
6.1 PROJETO EXEMPLO	23
6.2 O PESO DA CRITICIDADE.....	23
6.3 A CURVA <i>RUNDOWN</i>	27
6.4 INDICADORES CALCULADOS	27
7. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	28
7.1 ANÁLISE PELO <i>EDM</i>	28
7.2 ANÁLISE PELO <i>EDM'</i>	29
7.3 ANÁLISE COMPARATIVA	31
8. CONCLUSÕES.....	35
9. POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS	36
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
11. APÊNDICES	39

1. INTRODUÇÃO

No método do *Earned Value Management (EVM)*¹, o mais difundido na esfera do gerenciamento de projetos, existe um indicador para análise de desempenho de prazo, *Schedule Performance Index (SPI)*. Entretanto, o conceito de monitoramento e controle de prazo é uma das mais importantes funções do gerenciamento que ainda não foi suficientemente explorada (KHAMOOSHI; GOLAFSHANI, 2013). O professor Khamooshi explica que:

“Embora o GVA [*EVM*] seja, reconhecidamente, o sistema de controle de custos de projetos mais amplamente utilizado, boa parte dos projetos continua a falhar no cumprimento de seus objetivos de custo e prazo. Das razões apontadas para tais falhas, a falta de foco no planejamento e controle dos prazos e a confiabilidade das estimativas usadas no planejamento e construção dos cronogramas estão entre as mais comuns.” (KHAMOOSHI, 2014, p. 10).

Em contrapartida, a análise de cronogramas de grandes obras de engenharia é bastante complexa, e demanda, de fato, algum método de análise capaz de sintetizar a real situação física da obra de forma consistente.

Muitas abordagens vêm sendo feitas no sentido de ajustar as deficiências do *EVM* para gerenciamento de prazo. A mais recente e bem-sucedida foi a criação do conceito do *Earned Duration Management (EDM)*, introduzido no final de 2013, por dois professores da *George Washington University*. O método propõe desacoplar totalmente as análises de desempenho de custo e de prazo.

No entanto, ao estudar o *EDM*, tomando por base o artigo original de sua proposição, nota-se que o método, embora tenha sido formulado com muita consistência, considera igualmente a relevância das atividades para o cálculo de seus indicadores de desempenho, ou então, considera somente as atividades do caminho crítico.

O presente trabalho tem o objetivo de propor um modelo para análise de desempenho de prazo em obras de construção pesada, com base no *EDM*, adaptando-o com uma ponderação que considera a criticidade de cada atividade. Especificamente, objetiva-se:

- Contextualizar a importância do controle do prazo nas obras de construção pesada;

¹ *Gerenciamento do Valor Agregado (GVA)*. Neste trabalho, entretanto, optou-se por manter as terminologias técnicas na língua inglesa, uma vez que muito do que está aqui descrito é recente na literatura e está ainda em discussão no meio técnico, de modo que é importante cuidar para não introduzir conceitos equivocados oriundos de traduções imprecisas.

- Entender as limitações do *EVM*, que levaram vários autores a procurar outros meios de avaliar seus projetos em relação a prazo;
- Aprender e aplicar o método do *EDM* em um projeto exemplo;
- Desenvolver um modelo, baseado no *EDM*, ponderando os indicadores de desempenho pela criticidade das atividades, tomando como parâmetro para a criticidade a folga total de cada atividade
- Comparar os resultados das análises pelo *EDM* com e sem a ponderação por criticidade.

Nesse sentido, foi feita uma pesquisa bibliográfica sobre o assunto, para entender os conceitos envolvidos nos indicadores de desempenho em relação a prazo, propostos pelo *EVM* e pelo *EDM*. Com os subsídios dados pela pesquisa, foi possível desenvolver o modelo e aplica-lo para análise em uma obra exemplo. Optou-se por não usar o *EVM*, por já existir uma grande diversidade de análises demonstrando sua ineficácia para a análise de desempenho de prazos (LIPKE, 2003; FLEMING; KOPPELMAN, 2004; KHAMOOSHI; GOLAFSHANI, 2013).

2. O PRAZO E A CONSTRUÇÃO PESADA

Segundo Yasbek (2005), não existe consenso nos meios acadêmico e profissional quanto à classificação da construção civil brasileira. Neste trabalho, ao referir-se à construção pesada, a intenção é direcionar o foco às obras de maior complexidade, geralmente de longo prazo.

Conforme Assumpção (1996², apud YASBEK, 2005, p. 5), as obras de construção pesada são aquelas essencialmente relacionadas às obras de infraestrutura, “tais como aeroportos, portos, rodovias, obras de saneamento, usinas hidroelétricas e nucleares, obras de arte, dentre outras.”

No contexto do gerenciamento de projetos, as obras de construção pesada são também projetos:

“Projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. A natureza temporária dos projetos indica que eles têm um início e um término definidos (...). Temporário não significa necessariamente de curta duração. O termo se refere ao engajamento do projeto e à sua longevidade” (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2013, p. 3).

Devido ao seu porte, as obras de construção pesada sempre envolvem elevadas quantias financeiras e estão associadas grandes impactos socioambientais e socioeconômicos. Por isso, os reflexos dos atrasos nessas obras costumam ser muito significantes.

Em 2014, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) analisou o prejuízo ao País em razão do atraso em obras de infraestrutura. O estudo procurou medir o valor financeiro dos benefícios que deixaram de ser gerados, pelo fato da não conclusão das obras. Por exemplo, para a Transposição do Rio São Francisco, prevista para estar concluída em 2010, o estudo estima que a produção agropecuária local deixou de gerar R\$ 11,7 bilhões. A CNI ainda considerou o custo de oportunidade do dinheiro aplicado na obra, e somou à conta, chegando a um total de R\$ 16,7 bilhões apenas nesse projeto. Em apenas 6 obras analisadas pela CNI, o prejuízo total foi estimado em R\$ 28 bilhões (Figura 1).

Esses atrasos geram prejuízo para toda a cadeia de investidores, inclusive para as empresas construtoras, uma vez que prorrogações tendem a aumentar os custos indiretos reduzindo a lucratividade das obras.

² ASSUMPÇÃO, J.F.P. **Gerenciamento de empreendimentos na construção civil: modelo para planejamento estratégico da produção de edifícios**. 1996. 206p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

Infraestrutura

o custo do atraso e as reformas necessárias

2013 

 **6 obras** de infraestrutura seguem inacabadas com **4 anos ou mais** desde que foram iniciadas \$\$\$

Custo do atraso **R\$ 28 bilhões**

== OBRAS ESTRATÉGICAS NOS SETORES DE ==
INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES,
SANEAMENTO E ELÉTRICO



Figura 1: Infográfico do reflexo dos atrasos em obras de infraestrutura

Fonte: Confederação Nacional da Indústria (CNI), 2014³.

Outra característica desse tipo de projeto, as obras de construção pesada, é que, com frequência, seu desempenho e avanço em prazo é confundido com medidas financeiras. Nessa linha, o *EVM* apresenta uma metodologia de análise.

³ Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/iniciativas/programas/propostas-da-industria/2014/10/1,49235/infograficos.html?url=25>. Acesso em: 28/01/2016.

3. CONTROLE DE PRAZO PELO *EARNED VALUE MANAGEMENT (EVM)*

O *Earned Value Management (EVM)*, ou, Gerenciamento do Valor Agregado (GVA) é uma ferramenta simplificada para análise de desempenho de projetos, cuja origem é uma metodologia chamada *Cost/Eschedule Control Systems Criteria (C/SCSC)*. Esta, por sua vez, é fundamentada em 35 critérios e é bastante complexa e burocrática (KHAMOOSHI; GOLAFSHANI, 2013).

Em relação ao desempenho em prazo, o *EVM* define o indicador *Schedule Performance Index (SPI)*, calculado pela expressão 1.

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (1)$$

O *Planned Value (PV)* é o orçamento previsto para as atividades previstas em uma determinada data de análise. Já o *Earned Value (EV)* é a medida de desempenho, expressa através do orçamento previsto para o serviço efetivamente realizado no projeto, em uma data de análise. Ambos podem corresponder a um determinado período ou, cumulativamente, a uma data de análise (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2011).

Por exemplo, supondo-se que um muro de 100m de comprimento está previsto para ser executado em 10 dias, ao custo unitário de \$ 1000/m, totalizando, portanto, \$ 100.000,00. No final do 5º dia, espera-se que tenham sido executados 50m (considerando que o progresso previsto seja linear) ao custo de \$ 50.000,00 (*PV*). No entanto, ao conferir os apontamentos, notou-se que foram realizados apenas 40m. O valor agregado do serviço efetivamente realizado foi R\$ 40.000,00 (*EV*). Logo, neste exemplo, tem-se $SPI = 0,80$, o que significa um atraso. Ou seja, sempre que $SPI < 1$, há uma indicação de atraso. Se, por outro lado, $SPI > 1$, o projeto está adiantado. Quando $SPI = 1$, o projeto está dentro do previsto.

Portanto, o *SPI* se propõe a indicar o desempenho do projeto em relação ao prazo com base em valores monetários. Essa abordagem pode conduzir a resultados inconsistentes em projetos com atividades de alto valor e que não estão no caminho crítico (KHAMOOSHI; GOLAFSHANI, 2013).

Fleming e Koppelman (2004) não recomendam o uso do *SPI* para análise do desempenho do projeto em relação a prazo, e indicam que ele pode ser usado apenas como um mecanismo de atenção.

Lipke (2003) concluiu que:

“From the time of the development of the EVM indicators, it has been known that the schedule indicators are flawed and exhibit strange behavior over the final third of the project when performance is poor. For this reason, the schedule indicators have not been viewed by Project managers as being as reliable as the indicators for cost. Consequently, the management of cost has been emphasized over schedule.” (LIPKE, 2003. p. 10).

Motivado por essas limitações, Lipke (2003) produziu uma notável contribuição: a introdução do *Earned Schedule* ($ES(t)$), ou “Prazo Agregado”, cujos conceitos foram incluídos como apêndice na última edição da publicação *PMI Standard EVM*⁴, em 2011.

Lipke (2003) propôs utilizar como parâmetro a duração equivalente à projeção do *EV* sobre a curva do *PV*. A Figura 2 ilustra essa ideia, que pode ser matematicamente representada pela expressão 2.

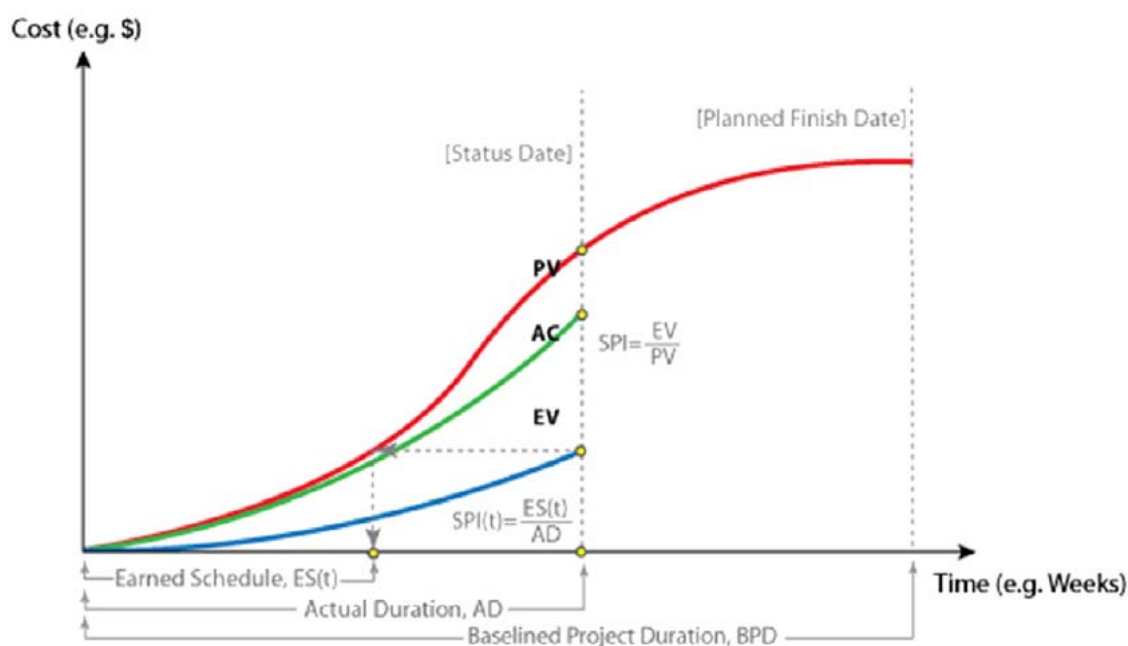


Figura 2: Gráfico conceitual do *Earned Value Management* (EVM), com representação do *Earned Schedule* ($ES(t)$)

Fonte: Khamooshi e Golafshani, 2013, p. 1021.

Para um tempo t onde $EV \geq PV_t$ e $EV < PV_{t+1}$:

$$ES(t) = t + \frac{EV - PV_t}{PV_{t+1} - PV_t} \quad (2)$$

⁴ Publicação do *Project Management Institute* (PMI), dedicada especialmente às melhores práticas no gerenciamento pelo EVM.

O $ES(t)$ é relacionado com o “*Actual Duration (AD)*”, dando origem ao $SPI(t)$:

$$SPI(t) = \frac{ES(t)}{AD} \quad (3)$$

Khamooshi e Golafshani (2013) consideram que o $SPI(t)$ é uma medida melhor de desempenho de cronograma, se comparado ao SPI . No entanto, os autores consideram que o conceito ainda possui alguns aspectos não resolvidos. O principal inconveniente é o fato de o índice continuar sendo determinado com base em uma medida monetária.

Em algumas instâncias, tanto $SPI(t)$ quanto SPI apresentam resultados imprecisos. Por exemplo, se uma atividade de aquisição cujo PV é alto e a duração é curta, pode haver uma mudança drástica no valor de SPI e $SPI(t)$, mascarando atrasos de atividades não tão relevantes do ponto de vista financeiro, mas que pertencem ao caminho crítico (KHAMOOSHI; GOLAFSHANI, 2013).

No sentido de desenvolver um modelo de análise que pudesse resolver esse problema de vínculo com medidas monetárias, foi apresentada muito recentemente uma nova técnica, que se propõe a desacoplar totalmente os parâmetros financeiros da análise de desempenho de prazos. Essa técnica é o *Earned Duration Management (EDM)*.

4. CONTROLE DE PRAZO PELO *EARNED DURATION MANAGEMENT (EDM)*

Khamooshi e Golafshani (2013) introduziram um novo conceito ao desacoplar totalmente custo e prazo para a análise de projetos. Em seus estudos, os autores propuseram um novo equacionamento e deram à abordagem que construíram o nome de *Earned Duration Management (EDM)*, que pode ser traduzido por “Gerenciamento da Duração Agregada (GDA)” (REVISTA MUNDO PM, 2013).

As definições das próximas seções estão todas de acordo com o artigo *EDM: Earned Duration Management, a new approach to schedule performance management and measurement* (KHAMOOSHI; GOLAFSHANI, 2013). Embora a formulação seja completa (envolva tanto custo quanto prazo), a seguir são apresentados apenas os conceitos relativos ao prazo, por ser este o foco deste trabalho.

4.1 Conceitos e notações do EDM

O modelo de Khamooshi e Golafshani (2013) considera as duas diferentes instâncias de análise:

- nível “micro” (instância das atividades);
- nível “macro” (instância global do projeto).

Outras instâncias podem ser elaboradas, agrupando os parâmetros da instância das atividades em outros grupos de interesse, por exemplo, os níveis da Estrutura Analítica do Projeto (EAP).

4.1.1 Nível “micro” (instância das atividades)

Na instância das atividades, os seguintes parâmetros são definidos:

- *Baseline Planned Duration (BPD_i)*: é a duração total prevista na linha de base para a atividade *i*.
- *Planned Duration (PD_i)*: é a duração prevista na linha de base para a atividade *i* até a data de análise. Para atividades em andamento, corresponde à duração entre a data de início prevista para a atividade e a data de análise. Para atividades concluídas, irá coincidir com *BPD_i*.
- *Actual Duration (AD_i)*: é a duração real já ocorrida para a atividade *i*. Corresponde à duração entre a data real de início da atividade e a data de análise.

- *Estimated Duration To Complete (EDTC_i)*: é a duração estimada para o término atividade *i*.
- *Activity Progress Index (API_i)*: é o índice que mede o progresso da atividade *i*. Com a função de refletir o quanto da atividade já foi realizado, o índice pode ser calculado por diferentes critérios (por exemplo, horas trabalhadas, quantidade de serviço, etc.) (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2011a). Nos estudos de Khamooshi e Golafshani (2013), foi proposto um critério baseado exclusivamente em duração:

$$API_i = \frac{AD_i}{AD_i + EDTC_i} \quad (4)$$

- *Earned Duration (ED_i)*: é a duração agregada da atividade *i*, que relaciona o progresso da atividade *i* proporcionalmente à duração total prevista na linha de base para a atividade *i*, na data de análise. Matematicamente:

$$ED_i = BPD_i \cdot API_i \quad (5)$$

4.1.2 Nível “macro” (instância do projeto)

Na instância de análise global do projeto, os seguintes parâmetros foram definidos:

- *Baseline Planned Duration (BPD)*: é a o prazo total do projeto, previsto na linha de base do projeto, independente da data de análise.
- *Total Planned Duration (TPD)*: é a soma dos valores de *PD_i* em uma determinada data de análise, para todas as atividades previstas na linha de base do projeto. Matematicamente expresso por:

$$TPD = \sum_{i=1}^n PD_i \quad (6)$$

Onde *n* é o número de atividades em andamento ou concluídas referente à data de análise. É necessário observar que, no caso de atividades com previsão em andamento, leva-se em consideração somente a duração compreendida entre a data de início previsto da atividade e a data de análise.

- *Total Actual Duration (TAD)*: é a soma dos valores de *AD_i* para todas as atividades em andamento ou concluídas no projeto, em uma determinada data de análise. Isto é:

$$TAD = \sum_{i=1}^n AD_i \quad (7)$$

Onde n é o número de atividades em andamento ou concluídas referente à data de análise.

- *Total Earned Duration (TED)*: é a soma dos valores de ED_i para todas as atividades em andamento ou concluídas no projeto, em uma determinada data de análise. Logo:

$$TED = \sum_{i=1}^n ED_i \quad (8)$$

Onde n é o número de atividades em andamento ou concluídas referente à data de análise.

- *Earned Duration (ED(t))*: é a duração na instância do projeto a que corresponde o valor de TED na curva de TPD , que é matematicamente expresso como:

Para um tempo t onde $TED \geq TPD_t$ e $TED < TPD_{t+1}$:

$$ED(t) = t + \frac{TED - TPD_t}{TPD_{t+1} - TPD_t} \quad (9)$$

Graficamente, o $ED(t)$ é representado na Figura 3.

Por analogia, pode-se perceber que os parâmetros PD_i , AD_i , e ED_i , do EDM são os correspondentes aos parâmetros PV , AC e EV , do EVM , e são todos dependentes da data de atualização dos dados. Já o parâmetro BPD_i não depende da data de análise.

4.2 Medição de desempenho em prazo no EDM

Os parâmetros apresentados nas seções anteriores embasaram Khamooshi e Golafshani (2013) a definirem indicadores de desempenho de prazo de forma totalmente independente de valores monetários.

4.2.1 Indicadores de desempenho em nível “micro”

Na instância das atividades, e em se tratando dos indicadores de desempenho relativos à duração e sem base monetária, são definidos os dois indicadores a seguir.

- *Duration Performance Index (DPI_i)*: é uma medida de desempenho que compara a duração agregada em relação à duração efetivamente ocorrida, para uma atividade *i* e uma determinada data de análise. Matematicamente, é calculado por:

$$DPI_i = \frac{ED_i}{AD_i} \quad (10)$$

Para cada atividade *i*, valores de *DPI_i* maiores do que 1 indicam que o desempenho foi melhor que o planejado e que a atividade *i* está adiantada. Menores do que 1, advertem que o desempenho foi pior do que o planejado e a atividade *i* está atrasada. E, iguais a 1, representam que o desempenho foi exatamente como planejado e a atividade *i* está dentro do prazo.

- *Earned Duration Index (EDI_i)*: é a medida da duração agregada comparada com o que se previa estar entregue, para uma atividade *i* e uma determinada data de análise. Matematicamente, é expresso por:

$$EDI_i = \frac{ED_i}{PD_i} \quad (11)$$

A interpretação do índice é que valores de *EDI_i* maiores do que 1 indicam que foi entregue mais serviço que o previsto. Menores do que 1, que foi entregue menos. E, iguais a 1, representam que foi entregue exatamente conforme previsto.

4.2.2 Indicadores de desempenho e progresso em nível “macro”

Na instância do projeto, e em se tratando dos indicadores de desempenho relativos à duração e sem base monetária, são definidos os três indicadores a seguir.

- *Duration Performance Index (DPI)*: é uma medida de desempenho geral do projeto que compara a duração agregada do projeto em relação à duração efetivamente ocorrida desde o início do projeto até uma determinada data de análise. Matematicamente, é calculado por:

$$DPI = \frac{ED(t)}{AD} \quad (12)$$

O valor de *DPI* maior do que 1 indica que, no geral, o projeto está adiantado em relação à linha de base do cronograma. Menor do que 1, adverte que o desempenho do avanço do projeto, no geral, foi pior do que o planejado e o projeto está atrasado. E, iguais a 1,

representam que o desempenho foi exatamente como planejado e o projeto, em geral, está dentro do prazo.

De modo similar ao *SPI* e *SPI(t)*, o *DPI* fornece uma medida de desempenho do avanço físico do projeto em direção ao planejado.

- *Earned Duration Index (EDI)*: é a medida de desempenho totalmente baseada em duração que, para o projeto em geral, compara a duração agregada em relação à duração planejada, em uma determinada data de análise. Matematicamente, é expresso por:

$$EDI = \frac{TED}{TPD} \quad (13)$$

A interpretação do índice é que, para o projeto em geral, valores de *EDI* maiores do que 1 indicam que foi entregue mais serviço que o previsto. Menores do que 1, que foi entregue menos. E, iguais a 1, representam que, no geral para todo o projeto, as durações agregadas estão conforme previsto.

- *Project Progress Index (PPI)*: é uma medida geral de avanço do projeto, que compara duração agregada, uma determinada data de análise, com o prazo total previsto na linha de base do cronograma do projeto. Matematicamente, é calculado por:

$$PPI = \frac{ED(t)}{BPD} \quad (14)$$

O valor de *PPI* representa o avanço do projeto, que varia de 0 (início do projeto) a tem seu valor máximo igual a 1, no final do projeto, quando *ED(t)* será igual à *BPD*, indicando que 100% do projeto está concluído.

A Figura 3, disposta a seguir, ilustra os conceitos e os indicadores de desempenho na instância do projeto.

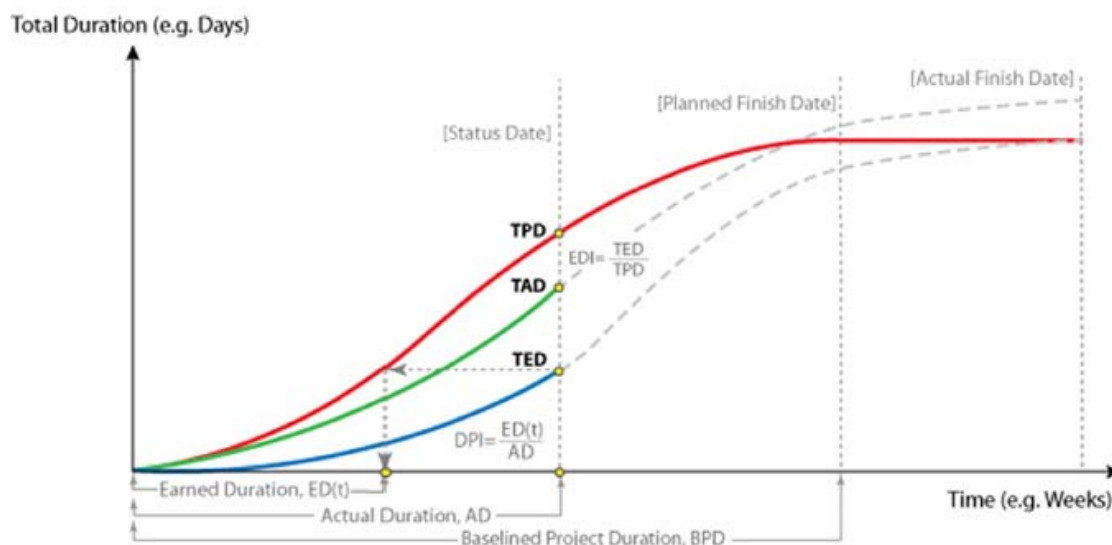


Figura 3: Gráfico conceitual do *Earned Duration Management (EDM)*

Fonte: Khamooshi e Golafshani, 2013, p.1028

4.3 Previsões

Também são formulados no *EDM*, assim como no *EVM*, indicadores que se propõem a estimar uma situação futura do projeto. Entretanto, Khamooshi e Golafshi (2013) acreditam que as características de desempenho do projeto são variáveis em cada fase do projeto e é questionável usar o desempenho passado em prazo para estimar uma data de término.

Os autores ainda citam, como exemplo, um projeto contratado na modalidade *Engineering, Procurement, Construction (EPC)*⁵, onde não se pode assumir que o desempenho na fase de projeto (*Engineering*) será o mesmo na fase de execução da obra. Isso conduziria a uma análise imprecisa. A experiência mostra que gastar mais tempo e recursos na fase de projeto executivo conduz a redução de custos e prazo no momento da execução. Consequentemente, se o projeto é composto por fases heterogêneas, como normalmente é, não é racional assumir o desempenho passado como bom indicador para prever o futuro.

⁵ Modalidade contratual bastante comum em obras de construção pesada, onde projeto (*design*), fornecimento e construção são escopo do contratado. Um exemplo de *EPC* pode ser a construção de uma usina hidrelétrica, onde uma empresa de energia contrata uma construtora para fazer o projeto executivo, construir a usina e fornecer os equipamentos eletromecânicos (turbinas, por exemplo), entregando a usina em funcionamento.

5. ATIVIDADES CRÍTICAS

No *Critical Path Method (CPM)* “o caminho crítico é definido como o caminho com a menor folga na rede de precedência. (...), sendo ainda, o caminho mais longo na rede de precedência” (BADIRU, 1995, p.111). Originalmente, nas redes construídas com a conceituação pura do *CPM*, o caminho crítico era representado pelas atividades cuja folga total era nula. No entanto, conforme o *Practice Standard for Scheduling*:

The critical path is typically, but not Always, the sequence of activities that predicts or defines the longest duration of the Project. Generally, it is the longest path through the project and therefore determines the duration of the Project. However, a critical path can end, as an example, on a schedule milestone that is in the middle of the schedule model and that has a finish-no-later-than date constraint. (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2011b).

As ferramentas computacionais atualmente disponíveis para desenvolvimento de cronogramas baseiam-se no método denominado *Precedence Diagram Method (PDM)*, uma evolução do *CPM*, que introduziu novos conceitos como outros tipos de relacionamento entre as atividades (além do usual “término-início”), a imposição de restrições, o uso de *leads* (esperas) e *lags* (atrasos), a atribuição de recursos e uso de múltiplos calendários para as atividades (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2011).

Há que se diferenciar atividades do caminho crítico de atividades críticas. As primeiras são todas as atividades contidas no(s) caminho(s) crítico(s), enquanto que as outras são todas as atividades vitais para o sucesso do projeto, mesmo não estando no caminho crítico. Atividades críticas normalmente são de elevado risco em termos de escopo, prazo e custo, podendo causar não apenas um atraso, mas aumentar a probabilidade de falha do projeto (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2011b).

Um cronograma pode possuir múltiplos caminhos críticos e a isso está associada uma maior ameaça de falhar. Além disso, em redes de precedência de grandes projetos, como é o caso das obras de construção pesada, existem também caminhos que estão próximos de serem críticos (caminhos subcríticos). Estes caminhos requerem também atenção, pois possuem alto potencial de tornarem-se críticos em razão de mudanças na rede com o andamento do projeto.

Badiru (1995) usou o conceito de Pareto para propor uma forma de analisar a relevância dos caminhos subcríticos. O autor usou o termo “criticidade” para denominar uma medida que se baseia no nível folga existente em cada caminho de um cronograma. Sua proposta, basicamente, é organizar as atividades em ordem crescente de folga total e atribuir um valor máximo de

criticidade para a menor folga (por exemplo, 100%), distribuindo o valor às demais atividades proporcionalmente às suas folgas. Matematicamente, Badiru (1995) propõe calcular a criticidade da seguinte maneira:

$$\lambda = \frac{\alpha_2 - \beta}{\alpha_2 - \alpha_1} (100\%) \quad (15)$$

Onde λ é a criticidade do caminho crítico, α_1 e α_2 são, respectivamente, mínima e máxima folgas totais e β é a folga total no caminho cuja criticidade é calculada.

Badiru (1995) sugere ainda um índice de criticidade, que utiliza o resultado da expressão 15 para definir uma escala entre dois extremos, por exemplo, entre 1 (menor criticidade) e 10 (maior criticidade). Na elaboração do autor, o índice λ' é calculado pela expressão 16. A tabela 1 traz um exemplo hipotético que ajuda a ilustrar o conceito apresentado por Badiru (1995):

$$\lambda' = 1 + 0,09\lambda \quad (16)$$

Tabela 1: Exemplo de análise de criticidade de caminhos

Nº do Caminho	Atividades no Caminho	Folga Total	λ	λ'
1	A, C, G, H	0	100%	10,00
2	B, D, E	1	97,56%	9,78
3	F, I	5	87,81%	8,90
4	J, K, L	9	78,05%	8,03
5	O, P, Q, R	10	75,61%	7,81
6	M, S, T	25	39,02%	4,51
7	N, AA, BB, U	30	26,83%	3,42
8	V, W, X	32	21,95%	2,98
9	Y, CC, EE	35	17,14%	2,54
10	DD, Z, FF	41	0%	1,00

Fonte: BADIRU, 1995, p. 115.

6. METODOLOGIA

A construção do modelo EDM, proposto está fundamentalmente pautada nos conceitos e no equacionamento apresentados por Khamooshi e Golafshani (2013), explicados em detalhes no Capítulo 4.

A partir disso, foi proposta uma modificação no cálculo dos indicadores de desempenho, ponderando os índices com base na relevância de cada atividade, tomando como parâmetro para a relevância a “criticidade”.

Em seguida, propõe-se que o modelo seja apresentado no formato de curva do tipo *rundown*, e modifica-se as equações com o objetivo de gerar as informações no formato necessário para o traçado da curva. O modelo foi testado comparando-se as metodologias de cálculo em um projeto exemplo.

6.1 Projeto Exemplo

As análises foram conduzidas em um exemplo prático⁶ de uma parte da construção de uma ponte de estrutura mista (concreto moldado *in loco*, concreto pré-moldado e estrutura metálica). Optou-se por um exemplo simples, de modo a permitir a conferência dos cálculos “manualmente” (com apoio do Excel).

O cronograma da obra foi desenvolvido no software Primavera⁷. Como as ferramentas atuais de desenvolvimento de cronograma não estão preparadas para o cálculo automático do *EDM*, utilizou-se o artifício de atribuir a todas as atividades um recurso material cujas quantidades correspondem às durações das atividades. No Apêndice A está disposto o cronograma desenvolvido para aplicação dos cálculos a seguir.

6.2 O Peso da Criticidade

Badiru (1995) elaborou interessante lógica para a análise de criticidade dos caminhos existentes no cronograma. Como mostrado no Capítulo 5, o autor usou o conceito de Pareto para ordenar os caminhos por folga total e atribuir índices de criticidade com base nas folgas das atividades.

⁶ O exemplo prático é hipotético, todavia, preserva as características básicas das obras de construção pesada, com destaque para atividades de Projeto e Fornecimento, de frequente ocorrência nas obras de construção pesada contratadas na modalidade *EPC*.

⁷ Oracle Primavera P6, versão 8.3.

De fato, é coerente considerar que quanto menor é a folga total de uma atividade, maior deve ser a atenção em relação a ela, uma vez que esta possui um potencial de tornar-se crítica em função de mudanças que possam ocorrer no cronograma com o andamento da obra.

Não fica claro, no método do *EDM*, se são consideradas apenas as atividades do caminho crítico. Mas o autor menciona, por exemplo, que o *DPI* é uma medida de desempenho de prazo do projeto considerando o caminho crítico: “*Duration Performance Index for project provides the measure of progress performance on the critical path and toward completion of project.*” (KHAMOOSHI; GOLAFSHANI, 2013, p.1026).

Se consideradas todas as atividades do cronograma, um resultado questionável dessa abordagem é o fato de ser possível a obtenção de bons desempenhos de prazo mesmo em caso de projetos atrasados, uma vez que a realização de atividades não críticas de grandes durações previstas pode elevar o valor de $ED(t)$ e, conseqüentemente, os valores de *DPI* e *EDI*.

Com o propósito considerar diferentemente as atividades críticas das não críticas para o cálculo dos indicadores de desempenho do *EDM*, sem deixar nenhum escopo do projeto de fora da análise, ousou-se atribuir um fator de ponderação às atividades, que pudesse representar a criticidade como expressão da folga total disponível em cada atividade. Para isso, utilizou-se uma função de decaimento exponencial, na forma a apresentada na expressão 17.

$$y = y_0 \cdot e^{-kx} \quad (17)$$

Thomas (2002), em seu livro de cálculo aplicado à engenharia, comenta a grande aplicação desse tipo de função para modelar o decaimento radioativo, a transferência de calor e uma gama de outros fenômenos. Trocando as notações das variáveis da expressão 17, elabora-se a expressão 18, para cálculo da criticidade de cada uma das atividades de um cronograma:

$$C_i = C_{máx} \cdot e^{-kf_i}, \text{ para } f_i \geq 0 \quad (18)$$

Onde C_i é a criticidade da atividade i , cuja folga total é f_i , $C_{máx}$ é constante de máxima criticidade e k é uma constante que depende da máxima folga total que se deseja controlar e do tamanho do intervalo atribuído entre mínima e máxima criticidades.

De fato, ao investigar as propriedades dessa função, nota-se que ela se presta muito bem ao propósito de um dos objetivos deste trabalho, que é considerar diferentemente a relevância das atividades para a análise de desempenho, tendo como referência a criticidade. Investigando a imagem da expressão 18, percebe-se que o aumento da folga total reduz a criticidade, tendendo

para 0. Por outro lado, valores menores da folga total aumentam a criticidade, tendendo à criticidade máxima quando $f=0$. Não se considera válido o uso da expressão 18 para $f < 0$, pois folgas negativas indicam que o cronograma não é factível.

O valor de k é uma característica que define o formato da curva. Valores maiores acentuam a curva em direção à origem, resultando na consideração de criticidade apenas para folgas menores. Por exemplo, analisando a Figura 4, onde tem-se $C_{máx} = 10$, nota-se que, para $k = 0,1$ os valores de C são significativos para folgas até 50 dias. Dobrando o valor, para $k = 0,2$, tem-se uma redução na relevância das criticidades, para folgas de até cerca de 25 dias. Aumentando ainda mais, para $k = 0,4$, as folgas que geram criticidades relevantes são no máximo 10 dias.

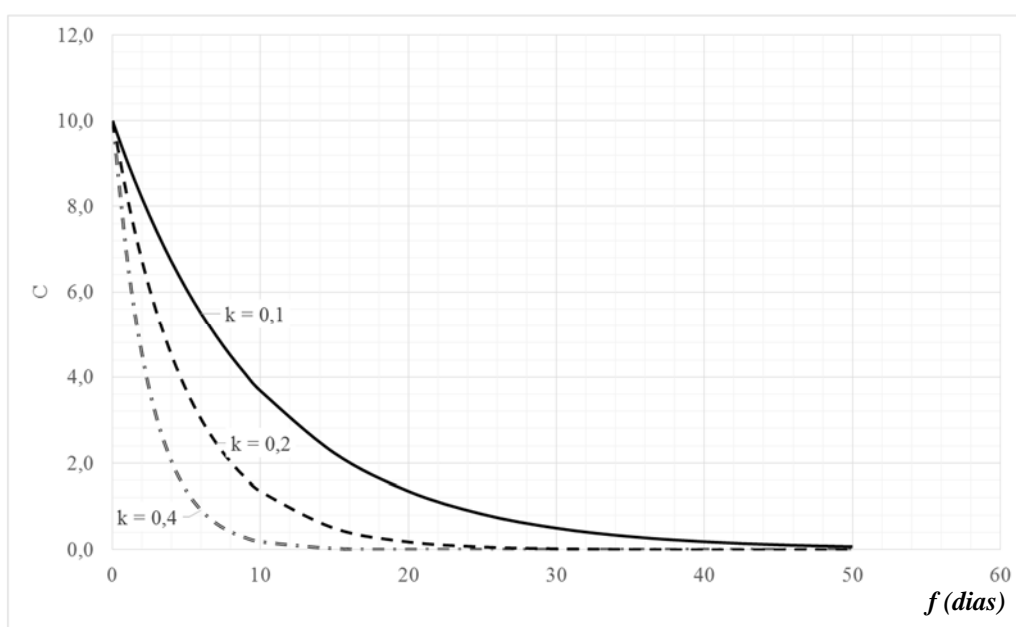


Figura 4: A influência do parâmetro k na função para a criticidade

Neste trabalho, o valor de k foi calculado com base nas características do cronograma do projeto exemplo, utilizando a folga máxima existente no cronograma, e atribuindo-se valores mínimo e máximo em torno dos quais a criticidade irá variar. Com estas considerações e resolvendo-se a expressão 18 para k , tem-se que seu valor é dado pela expressão 19:

$$k = \frac{1}{f_{máx}} \cdot \ln\left(\frac{C_{máx}}{C_{mín}}\right), \text{ para } C_{mín} > 0 \quad (19)$$

Deste modo, os parâmetros na instância das atividades foram modificados para considerar os pesos de criticidade. Nas equações a seguir, as notações do *EDM* serão diferenciadas com o uso do símbolo ' , para denotar os parâmetros que serão modificados pela ponderação por criticidade.

$$PD'_i = C_i \cdot PD_i \quad (20)$$

$$AD'_i = C_i \cdot AD_i \quad (21)$$

$$ED'_i = C_i \cdot ED_i \quad (22)$$

Desse tratamento, resultarão os indicadores de desempenho ponderados por criticidade. Para a instância das atividades:

$$DPI'_i = \frac{ED'_i}{AD'_i} \quad (23)$$

$$EDI'_i = \frac{ED'_i}{PD'_i} \quad (24)$$

E, para a instância do projeto:

$$TPD' = \sum_{i=1}^n PD'_i \quad (25)$$

$$TED' = \sum_{i=1}^n ED'_i \quad (26)$$

$$ED(t)' = t + \frac{TED' - TPD'_t}{TPD'_{t+1} - TPD'_t} \quad (27)$$

$$DPI' = \frac{ED(t)'}{AD} \quad (28)$$

$$PPI' = \frac{ED(t)'}{BPD} \quad (29)$$

$$EDI' = \frac{TED'}{TPD'} \quad (30)$$

6.3 A Curva *Rundown*

A curva *Rundown*, também conhecida como *Burndown*, é uma forma de construção gráfica usualmente citada nas metodologias ágeis, em especial a *Scrum*⁸, onde a ideia central é mostrar a quantidade de trabalho restante no *Sprint*⁹ em curso (SBOK, 2013).

De modo prático, pode-se dizer que é uma forma de representação invertida da “Curva-S”, já que esta mostra o quanto do serviço já foi realizado, cumulativamente. Ao introduzir essa simples modificação na ordem de análise, incentiva-se a equipe a manter o foco em direção à conclusão da obra. A Figura 5 ilustra um caso hipotético de curva *rundown*.

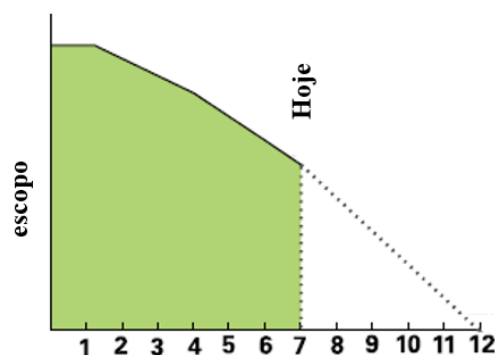


Figura 5: Exemplo conceitual de uma curva *rundown*

Fonte: Adaptado de DINWIDDIE, 2009, p. 27.

6.4 Indicadores Calculados

Fixada a linha de base do cronograma exemplo, foram simulados andamentos semanais da obra. Com os dados de cada semana, foram coletados os parâmetros PD_i , AD_i e $EDTC_i$ para cada atividade, de modo a permitir o cálculo dos indicadores de desempenho em “micro” e “macro” níveis, tanto para o *EDM* quanto para o *EDM'*.

Foram então tabulados cumulativamente para todas as semanas os valores de *TPD* e *TED* e transformados em valores percentuais, usando como referência o valor de *TPD* no final do projeto (100% dos serviços previstos na obra).

⁸ Scrum é uma metodologia ágil cujos conceitos foram formalizados em 1995, por Ken Schwaber e Jeff Sutherland (SBOK, 2013), originalmente destinada à projetos de *software*.

⁹ Na metodologia *Scrum*, o termo *Sprint* simboliza um pacote de trabalho para ser realizado em um prazo de uma a seis semanas de duração, no qual o “Time *Scrum*” trabalha para realizar as entregas pré-definidas.

7. ANÁLISE DE RESULTADOS

Utilizando a metodologia definida no Capítulo 6, foram feitos 3 grupos de análise: análise pelo *EDM*, análise pelo *EDM* ponderando por criticidade e, análise comparativa entre os resultados. No Apêndice B estão tabulados os resultados das simulações realizadas.

7.1 Análise pelo *EDM*

A Figura 6 mostra resultado da simulação pelo *EDM*, no conceito de curva *rundown* discutido na seção 6.3. A linha azul representa o saldo de *TPD* ao longo de toda a obra, partindo da semana #0, com 100% dos serviços a realizar, até à semana #20, onde se prevê o término dos serviços (0%). A linha vermelha representa o saldo de *TED*, cuja data de análise é a semana #9.

Nota-se que a evolução realizada resultou acima do previsto nas primeiras 8 semanas. A partir da semana #6, houve uma aceleração no *TED*, de tal modo que entre as semanas #8 e #9 este ultrapassou a previsão, indicando que o serviço agregado à obra, medido em termos de duração, superou o previsto para o período acumulado até a semana #9.

Numericamente, na semana #9, tem-se $TPD = 51\%$ e $TED = 47\%$. Isto é, considerando as durações acumulados dos serviços previstos até esta semana, havia sido previsto um saldo de serviços a executar igual a 51%, mas o saldo efetivamente a executar é de 47%. Ou seja, é informado um adiantamento de 4 pontos percentuais.

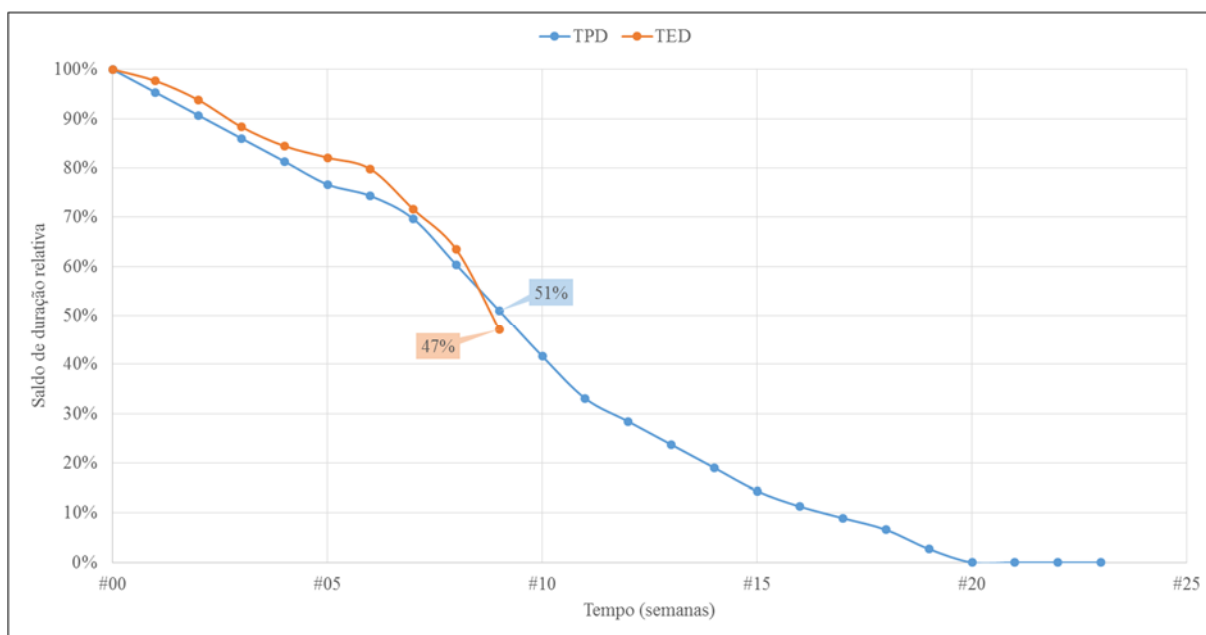


Figura 6: Análise de Desempenho na semana #9, pelo *EDM*

Analisando os valores dos indicadores de desempenho na semana #9, tem-se: $PPI = 0,41$, $DPI = 1,05$ e $EDI = 1,08$. Por si só, a análise do PPI não denota desempenho, apenas indica uma quantidade de progresso no cronograma em relação ao prazo total previsto para a obra (resta 59% de prazo, considerando a execução correspondente ao prazo agregado). Já os indicadores DPI e EDI , ambos maiores que 1, indicam que, no geral, em relação aos serviços previstos até o momento, houve um adiantamento.

No entanto, analisando a situação do cronograma na semana #9 (Apêndice C), observa-se que as atividades (04) e (07), ambas do caminho crítico, atrasaram substancialmente e causaram uma prorrogação de 4 semanas na data de término, em relação à linha de base.

Portanto, neste caso, a análise por DPI e EDI mostrou um desempenho controverso quando analisado em conjunto com o cronograma da obra, no período avaliado. Considerando que as atividades 09 e 10 foram executadas antes do previsto, conclui-se ser essa a razão da elevação nos índices de desempenho. Todavia, observa-se que estas atividades não pertencem ao caminho crítico, portanto, sua realização antecipada, embora signifique redução no escopo a executar, não afeta o projeto em termos de prazo, menos ainda no sentido de conferir-lhe bom desempenho.

7.2 Análise pelo EDM '

A análise do EDM ponderando por criticidade está condicionada à definição dos parâmetros da função para cálculo da criticidade das atividades. Conforme se propôs na seção 6.2, o valor de k foi calculado considerando a folga total máxima existente no cronograma (24 dias) e definindo índices iguais a 1 e 10, para as criticidades mínima e máxima. Com isso:

$$k = \frac{1}{f_{máx}} \cdot \ln\left(\frac{C_{máx}}{C_{mín}}\right) = \frac{1}{24} \cdot \ln\left(\frac{10}{1}\right) = 0,0959 \text{ dias}^{-1} \quad (31)$$

Logo, a expressão para a função da criticidade para a obra exemplo foi:

$$C_i = 10 \cdot e^{-0,0959f_i} \quad (32)$$

Analisando o gráfico desta função, na Figura 7, percebe-se que para a obra exemplo a criticidade das atividades terá valor máximo igual a 10, para as atividades do caminho crítico ($f = 0$), e decrescerá exponencialmente até o valor mínimo de 1, para as máximas folgas existentes no cronograma ($f = 24$).

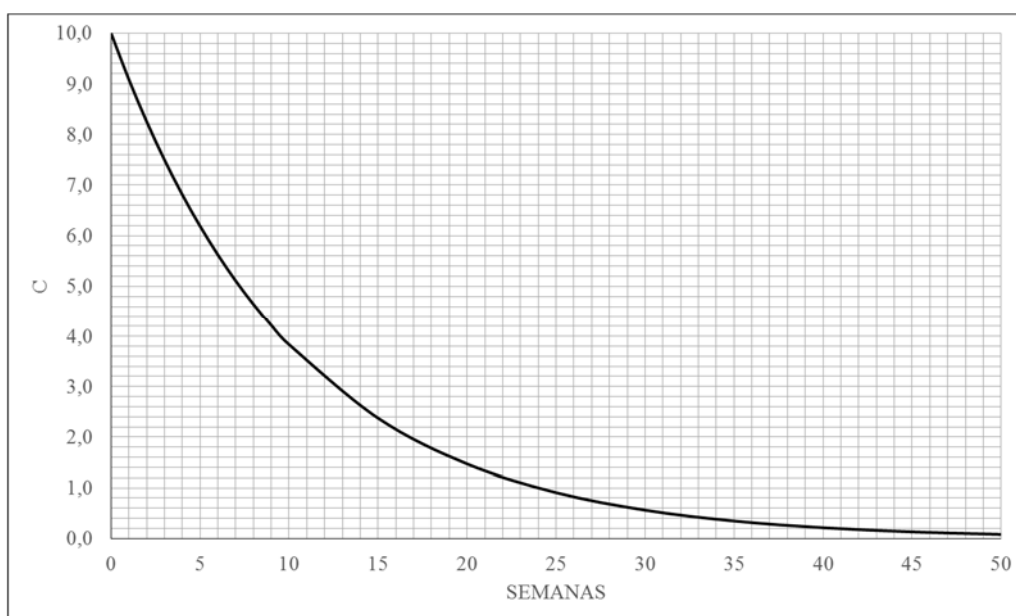


Figura 7: Gráfico da função de criticidade para a obra exemplo

A aplicação da expressão 32 nas atividades da obra exemplo, gerou os valores de criticidade indicados na Tabela 2:

Tabela 2: Índices de criticidade para a obra exemplo

i	Atividade	Folga Total (f_i)	Criticidade (C_i)
1	Início	0	10,00
2	Término	0	10,00
3	Projeto Básico	0	10,00
4	Projeto Executivo	0	10,00
5	Contratação	10	3,83
6	Compra de Material	10	3,83
7	Fabricação	0	10,00
8	Logística	0	10,00
9	Fabricação Pré-Lajes	24	1,00
10	Fabricação Pré-Vigas	16	2,16
11	Estacas de Fundação	3	7,50
12	Blocos de Coroamento	3	7,50
13	Pilares	3	7,50
14	Vigas	3	7,50
15	Concretagem Tabuleiro	3	7,50
16	Montagem Mastro e Estais	0	10,00
17	Protensão Estais	5	6,19
18	Acabamentos	0	10,00

Aplicando, portanto, os índices de criticidade por atividade e utilizando-os para ponderar o cálculo dos parâmetros do EDM, chega-se ao resultado ilustrado pelo gráfico da Figura 8.

Na semana #9 tem-se $TPD' = 56\%$ e $TED' = 61\%$. Isto é, considerando agora o efeito da ponderação pela criticidade das atividades, havia sido previsto um saldo de serviços a executar igual a 56%, mas o saldo efetivamente a executar é de 61%. Ou seja, é informado um atraso de 5 pontos percentuais.

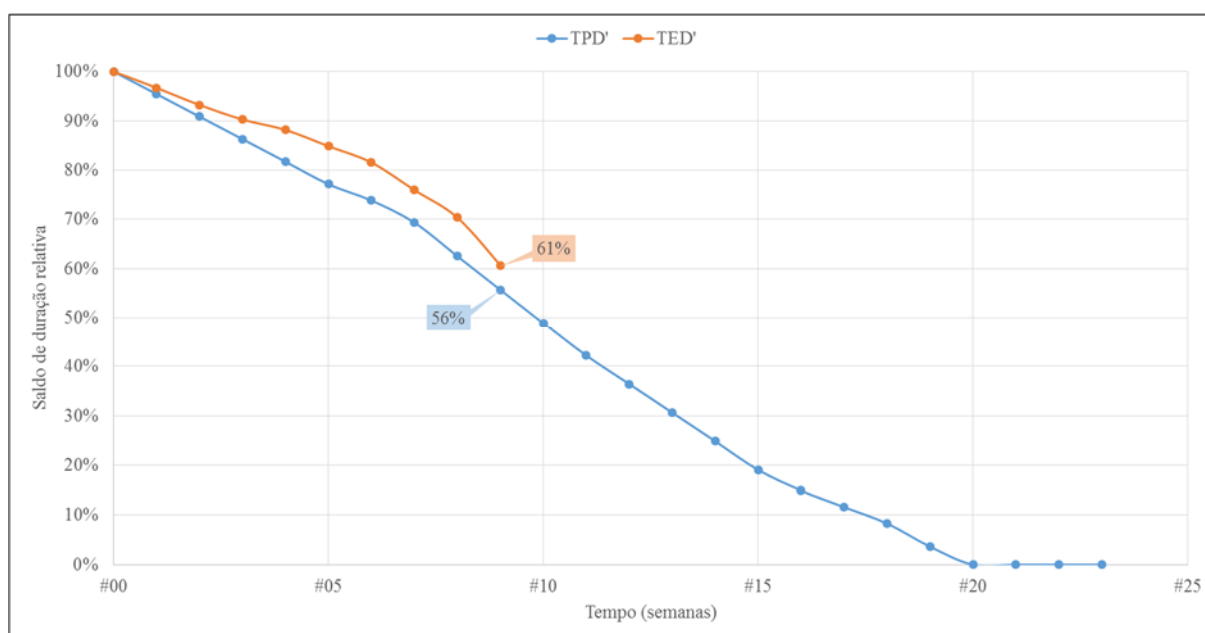


Figura 8: Análise de Desempenho na semana #9, pelo EDM'

Analisando os valores dos indicadores de desempenho na semana #9, tem-se: $PPI' = 0,36$, $DPI' = 0,92$ e $EDI' = 0,89$. Neste caso, como se observou anteriormente, o atraso nas atividades críticas foi percebido pelos indicadores de desempenho, que resultaram menores do que 1.

Atribui-se esse resultado ao fato de que, agora, estes passaram a diferenciar a relevância das atividades em relação ao prazo, considerando maior peso para as atividades mais sensíveis ao caminho crítico, retratando que os indicadores e o cronograma demonstram alinhamento no desempenho informado.

7.3 Análise comparativa

Considerando as simulações semanais pelo EDM e pelo EDM', para toda a obra exemplo, foram feitos comparativos entre os valores encontrados para os indicadores de desempenho, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 3: Comparativo dos resultados pelo *EDM* e *EDM'*

Semana	<i>TPD</i>		<i>TED</i>		<i>PPI</i>		<i>ED(t)</i>		<i>DPI</i>		<i>EDI</i>	
	<i>EDM</i>	<i>EDM'</i>	<i>EDM</i>	<i>EDM'</i>	<i>EDM</i>	<i>EDM'</i>	<i>EDM</i>	<i>EDM'</i>	<i>EDM</i>	<i>EDM'</i>	<i>EDM'</i>	<i>EDM</i>
#00	100%	100%	100%	100%	0,00	0,00	0	0				
#01	95%	95%	98%	97%	0,02	0,03	3	4	0,50	0,72	0,50	0,72
#02	91%	91%	94%	93%	0,06	0,06	8	9	0,67	0,74	0,67	0,74
#03	86%	86%	88%	90%	0,11	0,09	15	13	0,83	0,71	0,83	0,71
#04	81%	82%	84%	88%	0,14	0,11	20	16	0,83	0,65	0,83	0,65
#05	77%	77%	82%	85%	0,17	0,14	23	20	0,77	0,66	0,77	0,66
#06	74%	74%	80%	82%	0,19	0,18	26	24	0,72	0,67	0,79	0,71
#07	70%	69%	72%	76%	0,29	0,23	40	32	0,94	0,77	0,94	0,78
#08	60%	63%	63%	70%	0,33	0,29	46	41	0,96	0,85	0,92	0,79
#09	51%	56%	47%	61%	0,41	0,36	57	50	1,05	0,92	1,08	0,89
#10	42%	49%	42%	55%	0,43	0,40	60	55	0,99	0,91	0,99	0,88
#11	33%	42%	38%	49%	0,45	0,43	63	60	0,95	0,91	0,93	0,88
#12	28%	36%	33%	43%	0,48	0,47	66	65	0,92	0,90	0,93	0,89
#13	24%	31%	28%	38%	0,52	0,51	72	71	0,92	0,91	0,94	0,90
#14	19%	25%	24%	32%	0,57	0,56	78	77	0,93	0,91	0,94	0,91
#15	14%	19%	19%	26%	0,61	0,60	84	83	0,93	0,92	0,95	0,91
#16	11%	15%	17%	23%	0,63	0,63	87	86	0,91	0,90	0,94	0,91
#17	9%	12%	14%	19%	0,65	0,65	90	90	0,88	0,88	0,94	0,91
#18	7%	8%	12%	16%	0,68	0,68	95	94	0,88	0,87	0,94	0,92
#19	3%	4%	10%	13%	0,72	0,72	100	100	0,88	0,88	0,93	0,91
#20	0%	0%	7%	9%	0,77	0,77	106	106	0,88	0,88	0,93	0,91
#21	0%	0%	6%	7%	0,79	0,79	109	109	0,87	0,87	0,94	0,93
#22	0%	0%	2%	2%	0,84	0,84	117	116	0,88	0,88	0,98	0,98
#23	0%	0%	0%	0%	1,00	1,00	138	138	1,00	1,00	1,00	1,00

Os parâmetros *TPD* e *TED* e os indicadores de desempenho *DPI* e *EDI* foram plotados para análise gráfica, disposta na sequência.

Na Figura 9 nota-se que o efeito da consideração da criticidade influenciou substancialmente o *TPD*, no período entre as semanas #7 e #19. Observando em conjunto com o cronograma, entende-se que o maior número de atividades em paralelo nesse período, contribuindo com suas durações para os valores de *TPD*.

Todavia, no *EDM*, essas contribuições não diferenciam as atividades, isto é, a grande quantidade de atividades não críticas em paralelo foi considerada com o mesmo peso das atividades críticas, resultando em uma curva mais acelerada em direção ao término, no período analisado.

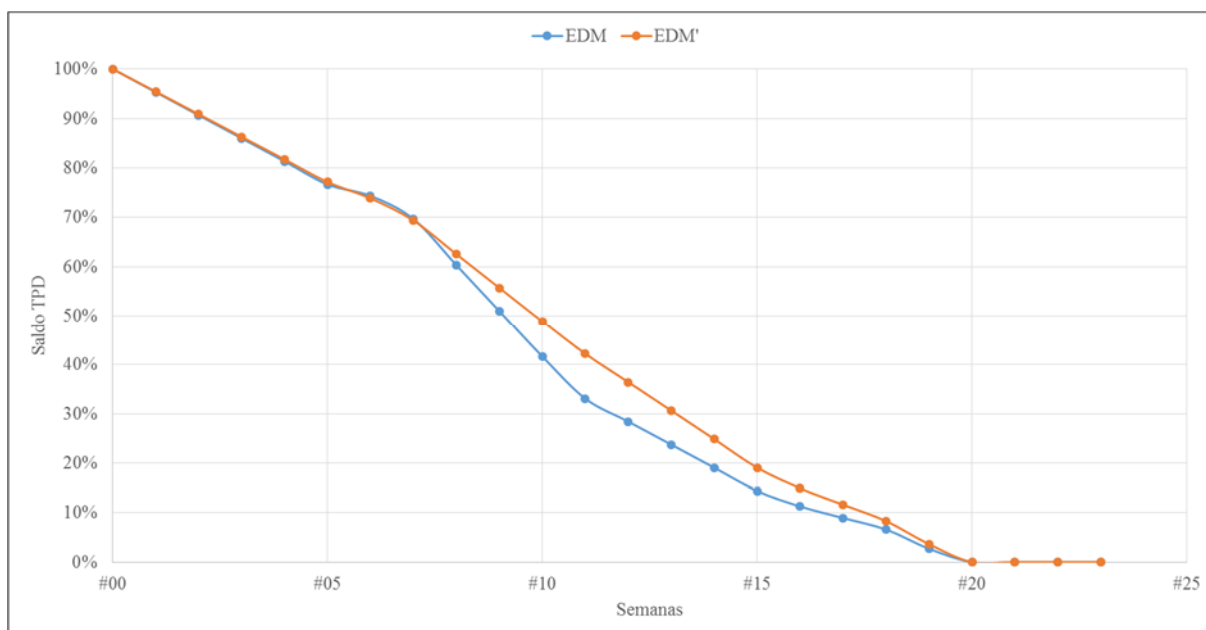


Figura 9: Comparativo *EDM* x *EDM'* – *TPD*

Já para o *EDM'*, onde a relevância das atividades foi levada em conta pela criticidade, as durações das atividades com maiores folgas contribuíram menos para o valor de *TPD*, resultando em uma curva menos íngreme.

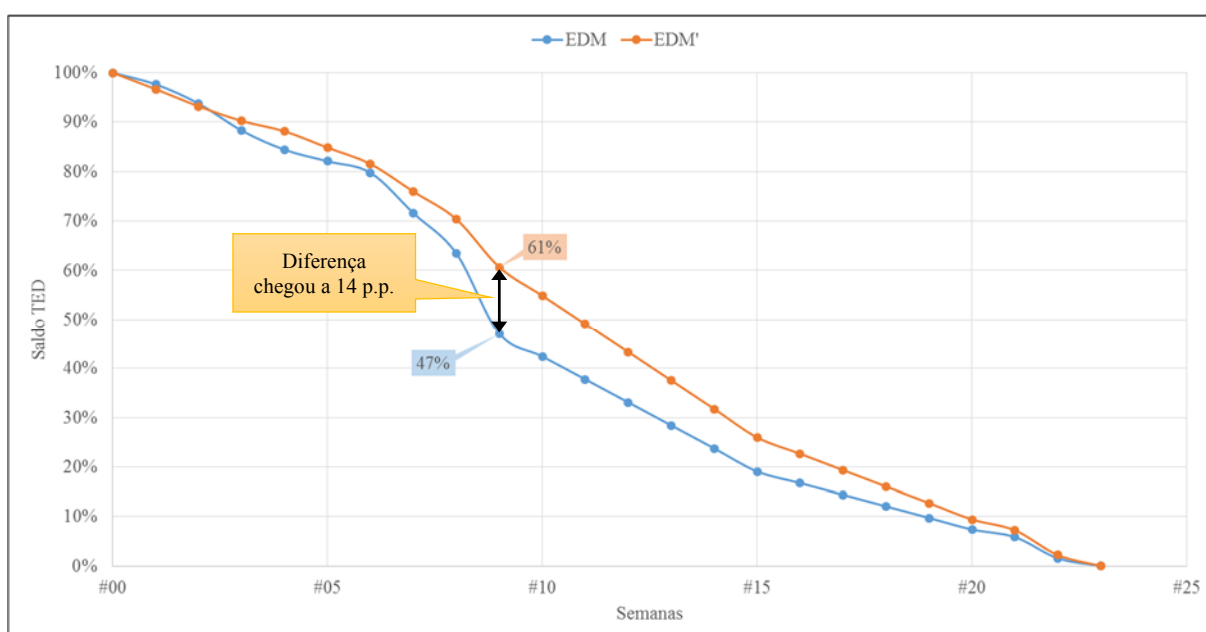


Figura 10: Comparativo *EDM* x *EDM'* – *TED*

Na Figura 10, assim como no *TPD*, o *TED* apresentou considerável diferença quando comparados os cálculos por *EDM* e *EDM'*. O maior impacto está na semana #9, onde há uma

diferença de 14 pontos percentuais entre os modelos. Neste ponto, analisando o cronograma (Apêndice C), percebe-se o atraso em atividades do caminho crítico e o adiantamento em atividades não pertencentes ao caminho crítico.

As diferenças também se mostraram evidentes no resultado dos indicadores de desempenho, *DPI* e *EDI*. Nas figuras 11 e 12, esses indicadores mostraram desempenhos quase sempre melhores no *EDM* do que no *EDM'*. O ponto de maior diferença ocorreu justamente na semana #9, onde os índices mostraram desempenho de adiantamento no *EDM* e atraso no *EDM'*.

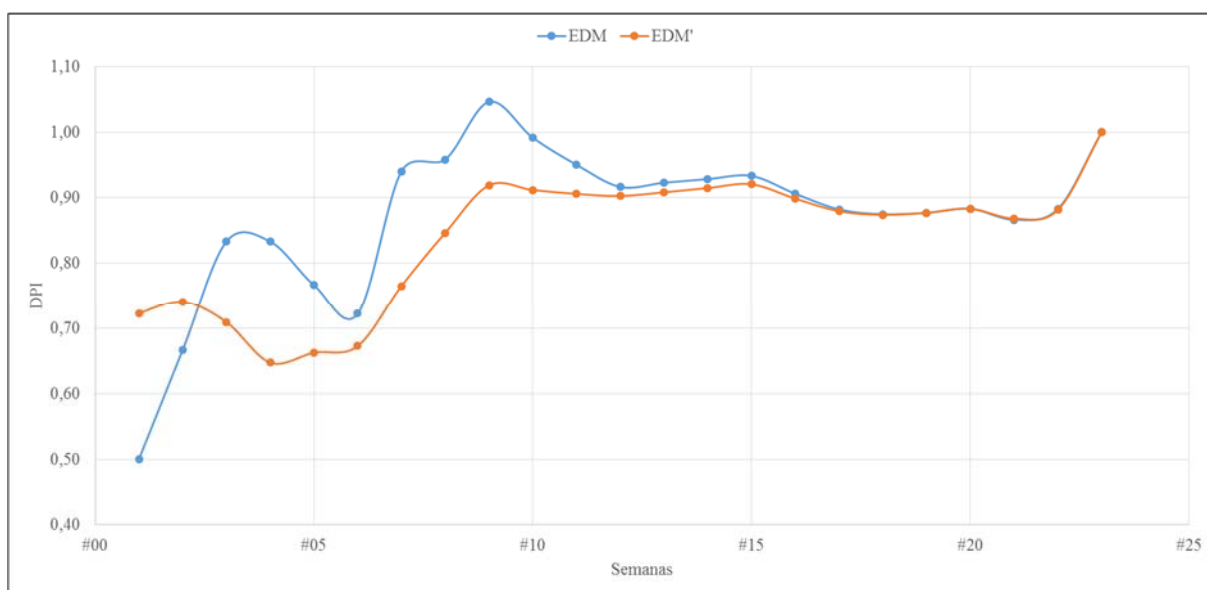


Figura 11: Comparativo *EDM* x *EDM'* – *DPI*

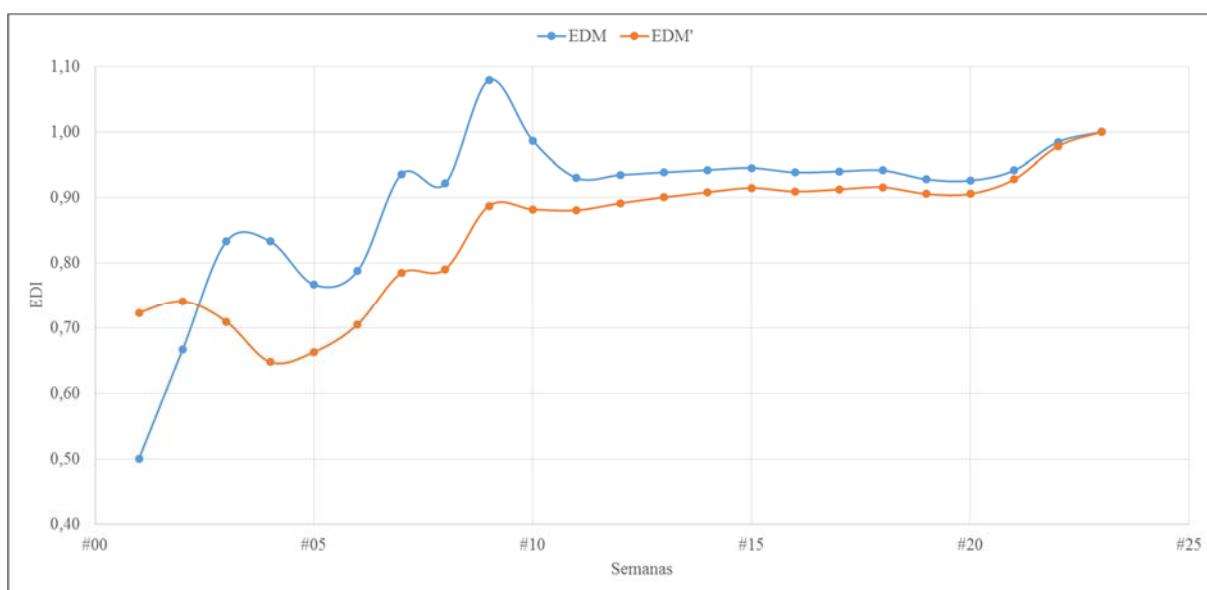


Figura 12: Comparativo *EDM* x *EDM'* – *EDI*

8. CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi propor um modelo para análise de desempenho de prazo em obras de construção pesada, com base no *EDM*, adaptando-o com uma ponderação que considerasse a criticidade de cada atividade. O modelo proposto foi analisado no Capítulo 7, e mostrou resultados consistentes para os cenários simulados.

Viu-se que as limitações do *EVM* motivaram os estudiosos de gerenciamento de projetos a desenvolverem, com sucesso, outras alternativas para melhor entenderem o desempenho de prazos dos projetos.

Foi possível entender os conceitos do *EDM* e notar que o método de Khamooshi e Golafshani (2013) é bastante consistente em sua formulação, de modo que se espera que este método evolua para as ferramentas de gerenciamento de projetos. Recentemente, o professor Khamooshi ministrou palestra em parceria com o PMI de Washington, para explicar os conceitos do *EDM*.

Ousou-se, ainda, em estudar a influência de um fator ponderador na formulação do *EDM*, diante do incômodo gerado ao se notar a possibilidade de, mesmo no *EDM*, ocorrer a indicação de um bom desempenho para um projeto atrasado.

Diante do contexto mostrado da construção pesada e sua realidade em relação ao controle de prazos, mostrou-se que o presente trabalho pode contribuir para a diminuição desses problemas, no sentido de ajudar construtoras a adotar um modelo efetivo para análise de desempenho de prazos.

É preciso dizer, no entanto, que o desenvolvimento e o uso de metodologias de análise de desempenho de projetos, embora tenha seu valor, não irá surtir efeito a menos que os modelos de gestão das obras sejam estruturados para a correta aferição de desempenho. Isso significa dizer que, antes de preocupar-se diretamente com o método de mensuração do desempenho, há que se garantir o uso adequado de boas práticas de desenvolvimento e integração das linhas de base de escopo, prazo e custos.

9. POSSÍVEIS DESDOBRAMENTOS

A seguir são apresentadas algumas ideias de desdobramento para trabalhos acadêmicos e experiências práticas futuras:

- Análise crítica e evolução do modelo desenvolvido através da aplicação em obras reais;
- Estudar outros métodos para considerar racionalmente a ponderação das atividades críticas, inclusive observando o conceito do PMI (atividades críticas são as vitais para o projeto, incluem outras atividades além das do caminho crítico);
- Estudar a influência de diferentes critérios para definição do valor do parâmetro k ;
- Estudar a influência do critério de cálculo do progresso na instância das atividades (API_i). Possível considerar como medida de avanço a quantidade realizada de serviço, para isso todas as atividades consideradas precisam ser fisicamente mensuráveis, por exemplo: metros cúbicos de escavação, metros lineares ferrovia executada, etc.);
- Comparar resultados incluindo no modelo agrupamentos intermediários de análise, por exemplo, por nível da WBS. Para isso, basta acumular os parâmetros de análise coletados na instância das atividades para as instâncias de análise desejadas.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BADIRU, A. B.; PULAT, P. S. **Comprehensive Project Management: Integrating Optimization Models, Management Principles, and Computers**. New Jersey: Prentice hall PTR, 1995.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Infraestrutura: o custo do atraso e as reformas necessárias**. Brasília: CNI, 2014. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes-e-estatisticas/>. Acesso em: 28/01/2016.

DINWIDDIE, George. Feel the Burn: Getting the Most Out of Burn Charts. **Better Software Magazine**, Florida: StickyMinds, july/August 2009.

FLEMING, Q.W.; KOPPELMAN, J.M. If EVM is so good... why isn't it used on all projects? **The Measurable News**. Reston: College of Performance Management, 2004.

KHAMOOSHI, H.; ANDRADE, P.A. Gerenciamento da Duração Agregada: Análise e Aplicações. **Revista Mundo PM**. Ed. 59. Out/nov 2014.

KHAMOOSHI, H.; GOLAFSHANI, H. EDM: Earned Duration Management, a new approach to schedule performance management and measurement. **College of Performance Management 32**. Elsevier: 2013.

LIPKE, W. Schedule is Different. **The Measurable News**, 31-34. Reston: College of Performance Management, 2003.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Practice Standard for Eaned Value Management**. 2nd ed. Newton Square: 2011a.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Practice Standard for Scheduling**. 2nd ed. Newton Square: 2011b.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **Project Management Body Of Knowledge**. 5th ed. Newton Square: 2013.

SBOK. A Guide To The Scrum Body Of Knowledge Guide: **A Comprehensive Guide to Deliver Projects using Scrum**. Arizona, SCRUMstudy™, 2013.

THOMAS, George B. **Cálculo - Volume 1**. Tradução: Paulo Boschcov. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2002.

11. APÊNDICES

- APÊNDICE A: Cronograma da obra exemplo
- APÊNDICE B: Tabulação dos dados e das análises
- APÊNDICE C: Cronograma da obra exemplo na semana #9

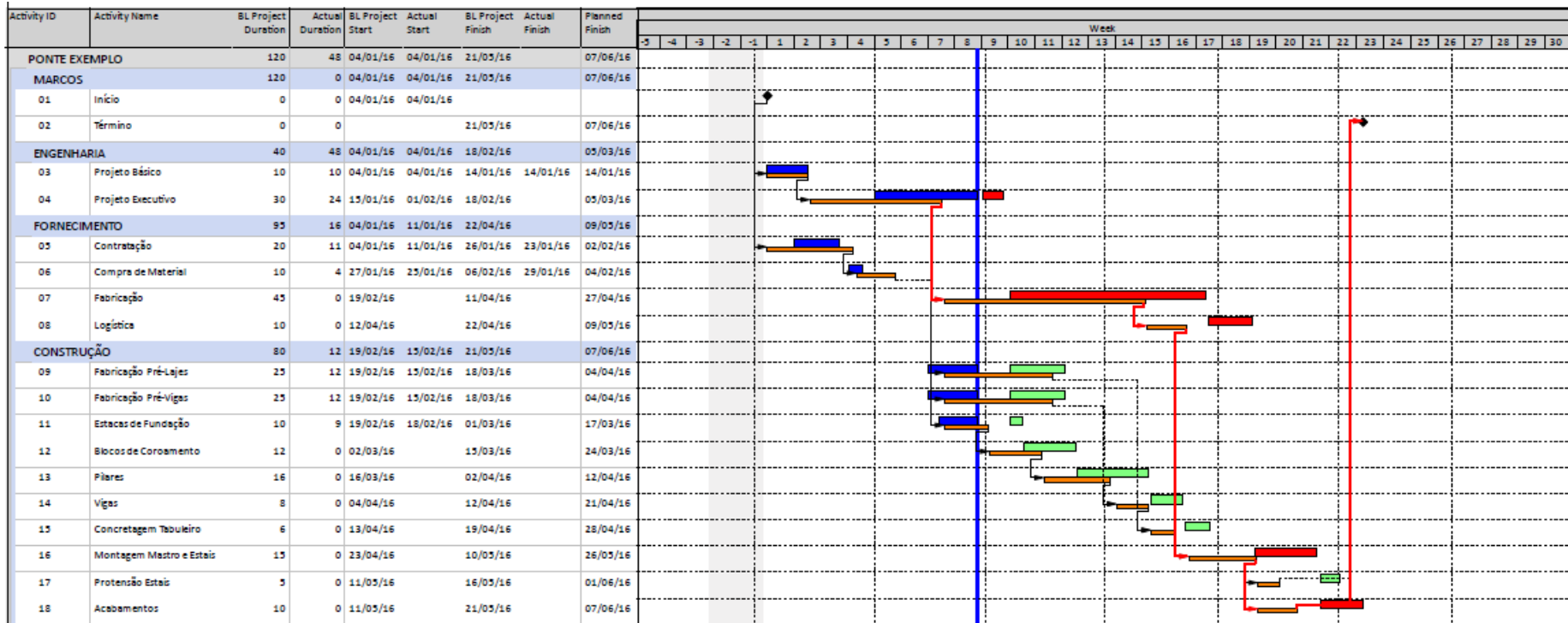
APÊNDICE B

Semana	ANÁLISE SEM PONDERAÇÃO											
	CÁLCULO DOS PARÂMETROS									RUNDOWN		
	TPD	TPD (%)	TED	TED (%)	AD	ED(t)	DPI	PPI	EDI	TPD	TED	PPI
Week # 0	0	0%	0	0%	0	0	0,00	0,00	0,00	100%	100%	100%
Week # 1	12	5%	6	2%	6	3	0,50	0,02	0,50	95%	98%	98%
Week # 2	24	9%	16	6%	12	8	0,67	0,06	0,67	91%	94%	94%
Week # 3	36	14%	30	12%	18	15	0,83	0,11	0,83	86%	88%	89%
Week # 4	48	19%	40	16%	24	20	0,83	0,14	0,83	81%	84%	86%
Week # 5	60	23%	46	18%	30	23	0,77	0,17	0,77	77%	82%	83%
Week # 6	66	26%	52	20%	36	26	0,72	0,19	0,79	74%	80%	81%
Week # 7	78	30%	73	28%	42	40	0,94	0,29	0,94	70%	72%	71%
Week # 8	102	40%	94	37%	48	46	0,96	0,33	0,92	60%	63%	67%
Week # 9	126	49%	136	53%	54	57	1,05	0,41	1,08	51%	47%	59%
Week # 10	150	58%	148	58%	60	60	0,99	0,43	0,99	42%	42%	57%
Week # 11	172	67%	160	62%	66	63	0,95	0,45	0,93	33%	38%	55%
Week # 12	184	72%	172	67%	72	66	0,92	0,48	0,93	28%	33%	52%
Week # 13	196	76%	184	72%	78	72	0,92	0,52	0,94	24%	28%	48%
Week # 14	208	81%	196	76%	84	78	0,93	0,57	0,94	19%	24%	43%
Week # 15	220	86%	208	81%	90	84	0,93	0,61	0,95	14%	19%	39%
Week # 16	228	89%	214	83%	96	87	0,91	0,63	0,94	11%	17%	37%
Week # 17	234	91%	220	86%	102	90	0,88	0,65	0,94	9%	14%	35%
Week # 18	240	93%	226	88%	108	95	0,88	0,68	0,94	7%	12%	32%
Week # 19	250	97%	232	90%	114	100	0,88	0,72	0,93	3%	10%	28%
Week # 20	257	100%	238	93%	120	106	0,88	0,77	0,93	0%	7%	23%
Week # 21	257	100%	242	94%	126	109	0,87	0,79	0,94	0%	6%	21%
Week # 22	257	100%	253	98%	132	117	0,88	0,84	0,98	0%	2%	16%
Week # 23	257	100%	257	100%	138	138	1,00	1,00	1,00	0%	0%	0%

APÊNDICE B (CONTINUAÇÃO)

Semana	ANÁLISE COM PONDERAÇÃO											
	CÁLCULO DOS PARÂMETROS									RUNDOWN		
	TPD'	TPD' (%)	TED'	TED' (%)	AD	ED(t)'	DPI'	PPI'	EDI'	TPD'	TED'	PPI'
Week # 0	0	0%	0	0%	0	0	0,00	0,00	0,00	100%	100%	100%
Week # 1	83	5%	60	3%	6	4	0,72	0,03	0,72	95%	97%	97%
Week # 2	166	9%	123	7%	12	9	0,74	0,06	0,74	91%	93%	94%
Week # 3	249	14%	177	10%	18	13	0,71	0,09	0,71	86%	90%	91%
Week # 4	332	18%	215	12%	24	16	0,65	0,11	0,65	82%	88%	89%
Week # 5	415	23%	275	15%	30	20	0,66	0,14	0,66	77%	85%	86%
Week # 6	475	26%	335	18%	36	24	0,67	0,18	0,71	74%	82%	82%
Week # 7	556	31%	436	24%	42	32	0,77	0,23	0,78	69%	76%	77%
Week # 8	680	37%	538	30%	48	41	0,85	0,29	0,79	63%	70%	71%
Week # 9	804	44%	714	39%	54	50	0,92	0,36	0,89	56%	61%	64%
Week # 10	928	51%	819	45%	60	55	0,91	0,40	0,88	49%	55%	60%
Week # 11	1049	58%	924	51%	66	60	0,91	0,43	0,88	42%	49%	57%
Week # 12	1154	64%	1029	57%	72	65	0,90	0,47	0,89	36%	43%	53%
Week # 13	1259	69%	1134	62%	78	71	0,91	0,51	0,90	31%	38%	49%
Week # 14	1364	75%	1239	68%	84	77	0,91	0,56	0,91	25%	32%	44%
Week # 15	1469	81%	1344	74%	90	83	0,92	0,60	0,91	19%	26%	40%
Week # 16	1544	85%	1404	77%	96	86	0,90	0,63	0,91	15%	23%	37%
Week # 17	1604	88%	1464	81%	102	90	0,88	0,65	0,91	12%	19%	35%
Week # 18	1664	92%	1524	84%	108	94	0,87	0,68	0,92	8%	16%	32%
Week # 19	1749	96%	1584	87%	114	100	0,88	0,72	0,91	4%	13%	28%
Week # 20	1815	100%	1644	91%	120	106	0,88	0,77	0,91	0%	9%	23%
Week # 21	1815	100%	1684	93%	126	109	0,87	0,79	0,93	0%	7%	21%
Week # 22	1815	100%	1775	98%	132	116	0,88	0,84	0,98	0%	2%	16%
Week # 23	1815	100%	1815	100%	138	138	1,00	1,00	1,00	0%	0%	0%

APÊNDICE C



Remaining Level of Effort
 Primary Baseline
 Remaining Work
 ◆ Milestone
 Actual Level of Effort
 Actual Work
 Critical Remaining Work

Date	Revision	Checked	Approved
01/01/16	Linha de Base	-	-
13/03/16	Análise de Desempenho	-	-