



III Semana Acadêmica de Engenharia Mecânica e de Produção

## “ENGENHARIA ALÉM DO TRADICIONAL E O IMPACTO DA INDÚSTRIA 4.0”

24 a 26 de setembro de 2018 no campus Viçosa da UFV  
Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica – DEP  
Universidade Federal de Viçosa – UFV

### PROJETO DE UM SISTEMA DE SUSPENSÃO PARA UM VEÍCULO TIPO FÓRMULA SAE ELÉTRICO

**Naelton Elias de Souza Cabral, Mateus Brener Reis de Sá, Lucas Vinicius de Bem Juliane, Lucas Benini**

Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica  
Avenida Peter Henry Rolfs, Campus Universitário - 36570-900 - Viçosa - Minas Gerais  
naelton.cabral@ufv.br, mateus.sa@ufv.br, lucas.juliane@ufv.br, lucas.benini@ufv.br

**Resumo:** A competição Fórmula SAE *Student* é organizada pela SAE (*Society of Automotive Engineers*) desde 1978 com o objetivo de enriquecer a formação dos estudantes de engenharia, fazendo-os trabalhar na prática conceitos aprendidos em sala. O objetivo do presente trabalho é detalhar o projeto do sistema de suspensão do protótipo GX01E da Equipe Fórmula UFVolts Majorados através da metodologia de projeto proposta por *Project Management Institute (2009)*. Com os resultados atingidos foi possível estruturar o projeto de suspensão, traçando o caminho crítico da atividade do mesmo e criando-se um cronograma de tarefas. O trabalho foi de suma importância para a equipe, uma vez que possibilitou a criação de um manual para o procedimento de projeto do sistema de suspensão, e implicará na economia de tempo nos projetos dos próximos protótipos.

Palavras-chave: Gerência de projeto, suspensão, Fórmula SAE, UFVolts Majorados

#### 1. INTRODUÇÃO

A competição Fórmula SAE *Student*, uma das maiores do mundo entre estudantes de engenharia, tem por objetivo avaliar o projeto e a construção de veículos tipo Fórmula projetados por equipes de estudantes universitários. A concepção do protótipo baseia-se no dimensionamento de diversos subsistemas e, entre eles, o de suspensão.

O sistema de suspensão é o responsável por garantir a estabilidade do veículo, tendo por objetivo absorver as irregularidades do solo e compensar a transferência de carga. Os principais tipos de suspensão são *hotchkiss*, *four-link*, *de dion*, *trailing arm*, *multi-link*, *MacPherson* e *short long arm*, sendo esta última a utilizada no veículo.

O projeto de suspensão de um veículo Fórmula SAE é imprescindível para o bom funcionamento do carro, afetando diretamente na dirigibilidade e segurança do piloto. Além disso, o mesmo engloba diversos setores, promovendo a integração entre os membros da equipe. Por ser considerado um sistema de alta complexidade e suma importância para o desempenho veicular, o planejamento e detalhamento correto do projeto influenciam diretamente em uma construção coerente do protótipo e, posteriormente, no desempenho satisfatório do carro na competição.

O presente trabalho tem como objetivo auxiliar na elaboração de um escopo de projeto detalhado do sistema de suspensão através da metodologia de gerenciamento de projeto proposta por *Project Management Institute (2009)* para a equipe Fórmula UFVolts Majorados da Universidade Federal de Viçosa, seguindo as normas do regulamento *Formula SAE Rules 2017/2018*.

Como objetivo específico, visa-se criar uma base sólida do procedimento de projeto para os futuros membros da equipe e amparar durante a construção física do Protótipo GX-01E, que participará da competição Fórmula SAE Brasil 2018.

## 2. METODOLOGIA

No desdobramento deste trabalho foi aplicada a metodologia de gerência de projeto encontrada em GUIA PMBoK (2013), partindo do desenvolvimento de cada uma das tarefas relacionadas ao projeto do sistema de suspensão e por meio da avaliação das competências destas tarefas. Não obstante, o *software* GanttProject® foi utilizado para a alocação atividades competentes.

O desenvolvimento do trabalho seguiu o seguinte desdobramento:

- 1) Avaliação das partes interessadas no objeto de estudo e sua relevância;
- 2) Definição dos requisitos do projeto de suspensão;
- 3) Criação do escopo do projeto;
- 4) Elaboração do cronograma das atividades com atribuição de recursos.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Partes interessadas no projeto e suas perspectivas

As partes interessadas do projeto do sistema de suspensão para um veículo tipo Fórmula SAE incluem desde instituições e organizações até estudantes de graduação. Serão apresentadas na Tab. 1 as principais partes interessadas do projeto, discriminando seus respectivos interesses, graus de poder e formas de tratamento.

Tabela 1 – Partes interessadas e suas descrições.

Parte interessada	Grau de interesse	Interesse	Grau de poder	Tratamento
Patrocinadores	2	Auxiliar com recursos computacionais de forma a garantir validade do projeto	5	Manter informado
Departamento de Engenharia de Produção e Mecânica	3	Promover a aplicação de conhecimento de engenharia através do projeto	5	Gerenciar com atenção
Departamento de Engenharia Elétrica	3	Promover a aplicação de conhecimento de engenharia através do projeto	2	Manter informado
Equipe UFVolts	5	Projetar e construir um veículo tipo Fórmula e desenvolver o trabalho em equipe	5	Gerenciar com atenção
Estudantes do Centro de Ciências Exatas	4	Colocar o conhecimento em prática, realizando um projeto de alta complexidade de forma obter destaque no âmbito acadêmico e profissional.	1	Manter informado
SAE	5	Promover e fomentar a participação das universidades em competições para avaliação dos projetos de carros fórmula	5	Gerenciar com atenção

*Interesse: nível de interesse (1 - Pouco Interessado e 5 – Muito interessado).*

*Grau de poder: nível de autoridade (1 – Baixo nível de poder e 5 – alto nível de poder).*

*Tratamento: Manter satisfeito; Gerenciar com atenção; Monitorar; Manter informado.*

### 3.2 Requisitos do projeto

Os requisitos do projeto do sistema de suspensão devem atender a áreas distintas, desde o alinhamento com os regulamentos vigentes exigidos pela SAE até o prazo de entrega final. Tal fato deve-se a diversos fatores, relacionados à exigência de atender às solicitações da entidade, constantes no regulamento *Formula SAE Rules 2017/2018*. Além disso, o projeto deve seguir o prazo estipulado em consequência de documentos e ofícios solicitados previamente pela organização e que devem ser entregues dois meses antes da competição. Os requisitos do projeto, a classificação e a parte interessada relacionada estão apresentados na Tab. 2:

Tabela 2 – Requisitos detalhados do projeto.

ID	Descrição do requisito	Classificação do requisito	Parte interessada
	Atender ao regulamento FSAE	5	SAE
	Possuir dois amortecedores na dianteira e traseira	3	Equipe
	Amortecedores devem possuir curso vertical de 50,8 mm	5	SAE
	Ser de baixo peso	3	Equipe
	Suportar o peso do carro	5	Equipe
	Deslocar a massa suspensa	2	Equipe
	Deslocar a massa não-suspensa	2	Equipe
	Pontos de fixação nos nós do chassi	4	Equipe
	Finalizar projeto até final de junho 2018	5	Equipe

### 3.3 Escopo do projeto

O escopo do projeto de suspensão inclui a descrição do produto esperado como resultado pelas partes interessadas. Além disso, são definidas as entregas que devem ser realizadas para a conclusão do projeto e apresenta-se a estrutura hierárquica das atividades que serão realizadas. As fronteiras e restrições também são discriminadas neste item, de forma a proporcionar uma visão do contorno do projeto. Por fim, são apresentadas as premissas e as especificações técnicas que o produto final deve possuir.

#### 3.3.1 Descrição do escopo do produto do projeto

Um veículo tipo Fórmula possui diversos componentes que, dentre eles, pode-se citar o sistema de suspensão. Este sistema tem como objetivo absorver todas as cargas provenientes no solo, gerando mais conforto para o piloto. O projeto do sistema terá o foco apenas no projeto conceitual e desenvolvendo os subcomponentes (manga de eixo, amortecedor e braços de suspensão).

De forma geral, serão desenvolvidos todos os cálculos e tomadas de decisões visando dimensionar um sistema de suspensão otimizado para atender aos interesses da Equipe UFVolts. Para que o projeto seja finalizado, parâmetros de dinâmica veicular e de dimensionamento da suspensão deverão ser analisados, como por exemplo as forças atuantes em cada um dos componentes, afim de gerar dados suficientes para uma escolha adequada e conveniente do sistema. Para isso deverá ser feito o dimensionamento dos seguintes itens: ângulo de cáster, ângulo do pino mestre, *scrub radius*, ângulo de câmber, geometria de *Ackermann*, bitola, entre eixos, posicionamento do centro de gravidade e ângulo de abertura dos braços de suspensão.

#### 3.3.2 Entregas do projeto

Nessa seção serão definidas as entregas de projeto, que indicam quais resultados ou itens devem ser retornados, de forma a considerar a atividade como finalizada. Como este trabalho não inclui a

fase de construção do protótipo, os resultados serão apenas documentos ou informações de dimensionamento do sistema de suspensão.

Dessa forma, os itens classificados como entregas do projeto estão indicados a seguir:

- 1) Preparação:
  - i) Leitura do regulamento da competição SAE;
  - ii) Leitura da bibliografia base para o projeto da suspensão;
  - iii) Familiarização com os *softwares* de projeto e simulação utilizados.
- 2) Projeto das mangas de eixo:
  - i) Escolha das rodas e pneus;
  - ii) Cálculo dos ângulos de Pino Mestre e Cáster e do *Scrub Radius*;
  - iii) Projeto das mangas no *software* SolidWorks®;
  - iv) Simulação estrutural das mangas no *software* ANSYS®;
- 3) Escolha dos amortecedores;
- 4) Definição da geometria dos braços de suspensão;
- 5) Simulação da suspensão no *software* ADAMS Car®;
- 6) Projeto final de suspensão.

### 3.3.3 Estrutura analítica de projeto

A Estrutura Analítica de Projeto (EAP) organiza as atividades que devem ser realizadas em forma de estrutura hierárquica. Cada pacote é considerado uma tarefa e o conjunto das tarefas resulta no projeto em si. Na maioria das vezes os pacotes de tarefas são divididos em tarefas menores que os compõe.

O objetivo da EAP é apresentar de forma gráfica toda a extensão do projeto e suas tarefas. Essa estrutura é utilizada como ferramenta para a subdivisão dos pacotes e também do planejamento de custos do projeto. A EAP do projeto de suspensão de um veículo Fórmula SAE é indicada na Fig. 1.

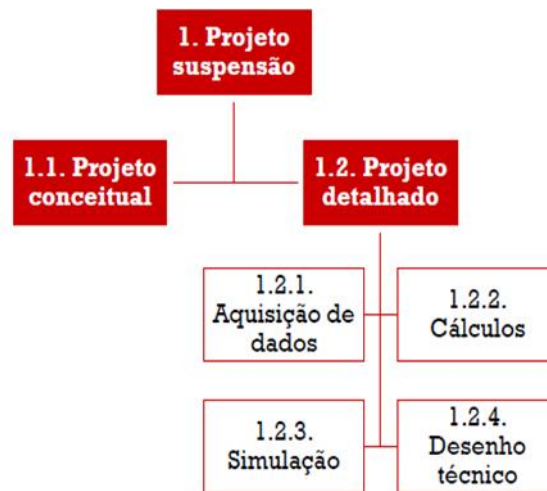


Figura 1 – Estrutura Analítica de Projeto (EAP).

O dicionário da EAP apresenta em forma de tópicos os pacotes de atividades que foram definidos na estrutura analítica e são descritas informações acerca dos pacotes. O dicionário da EAP para o projeto é indicado a seguir:

1. Projeto suspensão:
  - 1.1. Projeto conceitual: realizar as escolhas iniciais para definição de geometria;
  - 1.2. Projeto detalhado: definição da geometria final do protótipo:
    - i) Aquisição de dados: obtenção das características físicas dos componentes;
    - ii) Cálculos: definição de dados de entrada para as simulações;
    - iii) Simulação: verificação e otimização dos dados do protótipo;

iv) Desenho técnico: realização do desenho do protótipo.

### 3.3.4 Fronteiras de trabalho

O projeto está limitado pelo processo de elaboração detalhada do dimensionamento e escolha do material do sistema de suspensão de um veículo tipo Fórmula SAE. Ou seja, não estão inclusos a produção do produto final, nem como a arrecadação de recursos para tal.

### 3.3.5 Restrições de projeto

Devido ao fato desta parte tratar do projeto conceitual, não se observam grandes restrições, estando estas restritas ao escopo geral da equipe e adequação aos critérios do regulamento. A Tab. 3 apresenta as principais restrições do projeto.

Tabela 3 – Restrições do projeto.

Item	Descrição
A	Orçamento predefinido de até R\$ 6.000,00
B	Data de entrega do projeto detalhado para 07/07/2018
C	O projeto deve atender aos requisitos do regulamento SAE 2018

### 3.3.6 Premissas do projeto

O guia PMBoK descreve premissas como fatores que estão associados ao escopo do projeto e que são tomados como verídicos no planejamento do mesmo, sem necessidade de comprovação. A Tab. 4 apresenta as premissas do projeto de suspensão e os respectivos riscos relacionados.

Tabela 4 – Premissas do projeto.

Premissa	Descrição do risco
Escolha de componentes que atendam aos requisitos do projeto e ao orçamento	Devido às circunstâncias dos demais projetos dos subsistemas do veículo, é possível que componentes de baixo custo não atendam aos requisitos, reduzindo a qualidade do sistema, mas não colocará em risco a entrega do projeto.
Domínio do <i>software</i> de simulação	Fator mais hostil ao projeto, visto que o domínio do <i>software</i> de simulação é uma etapa fundamental para dimensionar e finalizar o projeto do sistema de suspensão. O não domínio deste poderá atrasar ou até mesmo inviabilizar a entrega do projeto

## 3.4 Cronograma das atividades e atribuição de recursos

Na Tab. 5 podem-se observar as tarefas pertinentes ao projeto de suspensão do veículo, juntamente com suas atividades predecessoras, pessoal necessário para cumprimento da tarefa e seu tempo de duração.

Tabela 5 – Tarefas e suas respectivas predecessoras.

Nome da tarefa	Predecessoras	Pessoal	Duração
Ler o regulamento		2	4 dias
Selecionar o tipo de suspensão	Ler o regulamento	2	2 dias
Escolher a roda	Ler o regulamento	1	1 dia
Escolher o pneu	Ler o regulamento; Escolher a roda	1	1 dia
Selecionar o amortecedor	Ler o regulamento; Selecionar o tipo de suspensão	1	7 dias

Definir o acionamento do amortecedor	Ler o regulamento; Selecionar o tipo de suspensão; Selecionar o amortecedor	2	7 dias
Estimar peso do carro	Escolher a roda; Escolher o pneu; Selecionar o amortecedor	2	2 dias
Estimar distribuição de massa	Estimar peso do carro	2	5 dias
Aferir constante de mola	Selecionar o amortecedor	1	1 dia
Aferir rigidez do pneu	Escolher o pneu	1	1 dia
Estimar posição do CG	Estimar peso do carro; Estimar distribuição de massa	2	1 dia
Obter <i>slip angle</i>	Escolher o pneu	1	1 dia
Obter coeficiente de atrito	Escolher o pneu	1	1 dia
Definir entre eixos	Estimar distribuição de massa	1	1 dia
Calcular transferência de carga	Estimar distribuição de massa; Estimar posição do CG	2	3 dias
Calcular SSF	Estimar posição do CG	1	1 dia
Calcular bitola	Calcular SSF	1	1 dia
Calcular <i>installation ratio</i>	Definir o acionamento do amortecedor; Escolher o pneu; Obter curso vertical da roda	2	7 dias
Calcular dimensões dos braços	Calcular transferência de carga; Calcular bitola	2	2 dias
Calcular <i>instant center e roll center</i>	Estimar posição do CG ; Calcular dimensões dos braços	3	2 dias
Obter geometria <i>Ackermann</i>	Definir entre eixos; Calcular bitola	3	14 dias
Aferir variação de cambagem	Calcular transferência de carga; Calcular bitola ; Calcular dimensões dos braços	2	10 dias
Determinar rolagem da carroceria	Calcular <i>instant center e roll center</i>	2	3 dias
Simular esforços	Calcular dimensões dos braços	3	14 dias
Obter curso vertical da roda	Aferir constante de mola	1	7 dias
Desenhar rodas e pneus	Escolher o pneu	1	2 dias
Desenhar amortecedor	Selecionar o amortecedor	1	1 dia
Desenhar manga de eixo	Obter geometria <i>Ackermann</i> ; Simular esforços	1	5 dias
Desenhar <i>push rod</i>	Definir o acionamento do amortecedor	1	1 dia
Desenhar balancim	Calcular <i>installation ratio</i>	2	7 dias
Desenhar braços	Simular esforços	1	2 dias
Desenhar juntas	Desenhar braços	1	6 dias
Desenhar <i>rod end</i>	Desenhar juntas	1	1 dia
Desenhar barra estabilizadora	Desenhar balancim	2	14 dias

Tendo estas informações, fazemos uso do *software* GanttProject® para estruturação completa das atividades. Tal ferramenta foi escolhida por permitir a hierarquização de tarefas e dependências, geração de gráficos de Gantt e de carga de recursos, relatórios de PDF e HTML além de importação e exportação de projetos. Na Fig. 2 pode-se encontrar a lista de tarefas, sua duração e estruturação no tempo geradas pelo *software* GanttProject®.

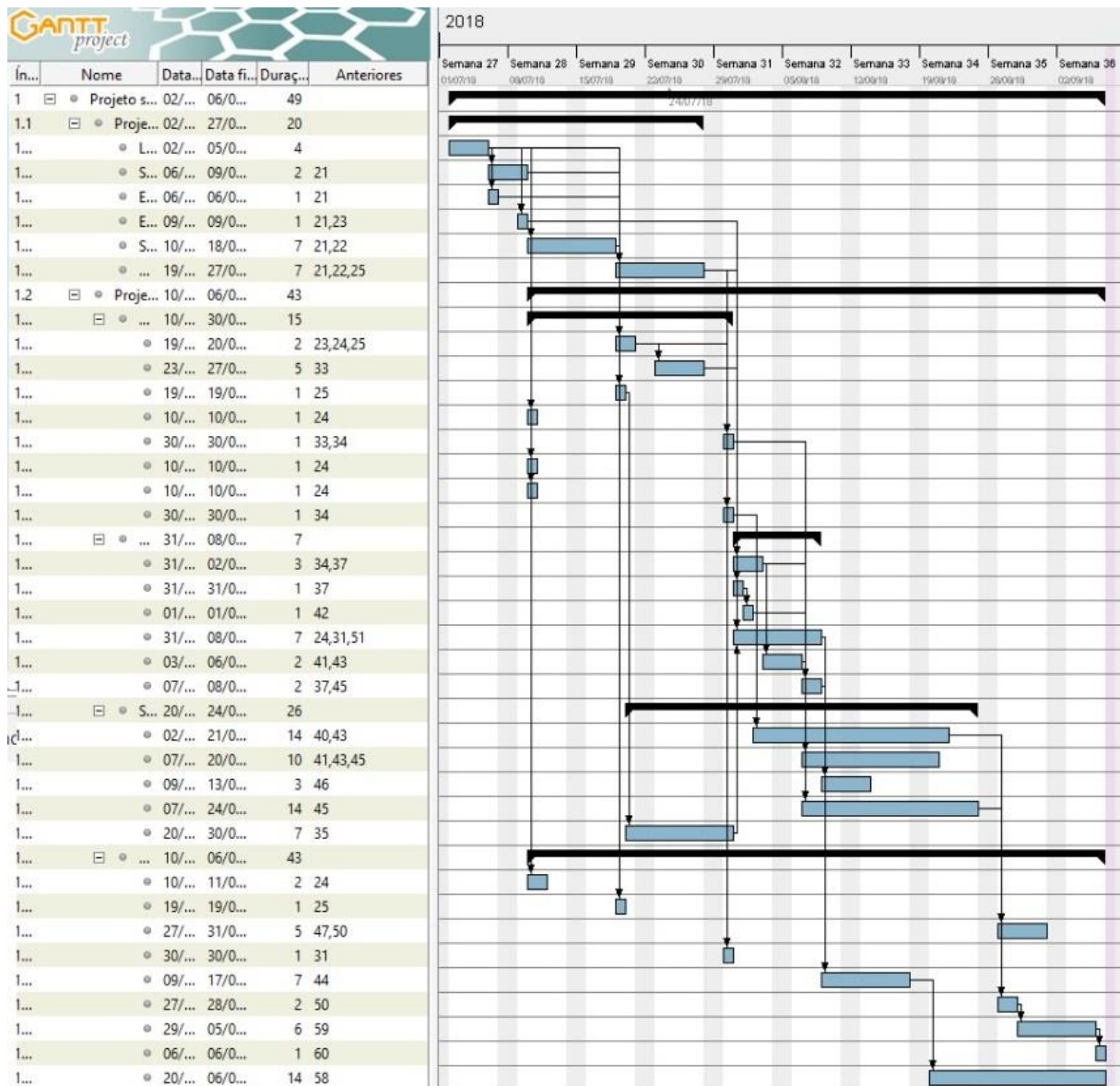


Figura 2 – Cronograma de tarefas.

### 3.5 DISCUSSÃO

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível constatar que contando com três membros envolvidos no projeto e 8 horas de trabalho diárias são necessários 49 dias para a conclusão do projeto. Além disso gerou-se um guia para o projeto de suspensão com sequenciamento de tarefas que será incorporado ao setor da equipe como ferramenta necessária de gestão de conhecimento.

Não obstante, através do *software* GanttProject® chegou-se no caminho crítico do projeto de suspensão o qual pode ser observado na Fig. 3, ou seja, a sequência de tarefas que, caso alguma atrase, gerará um atraso no projeto como um todo. Podemos observar por exemplo que sem a realização das atividades de leitura do regulamento e seleção do tipo de suspensão nenhuma outra atividade do projeto poderia ser realizada, e que sem aferir a constante de mola do amortecedor e a rigidez do pneu não poderíamos executar a simulação da suspensão.

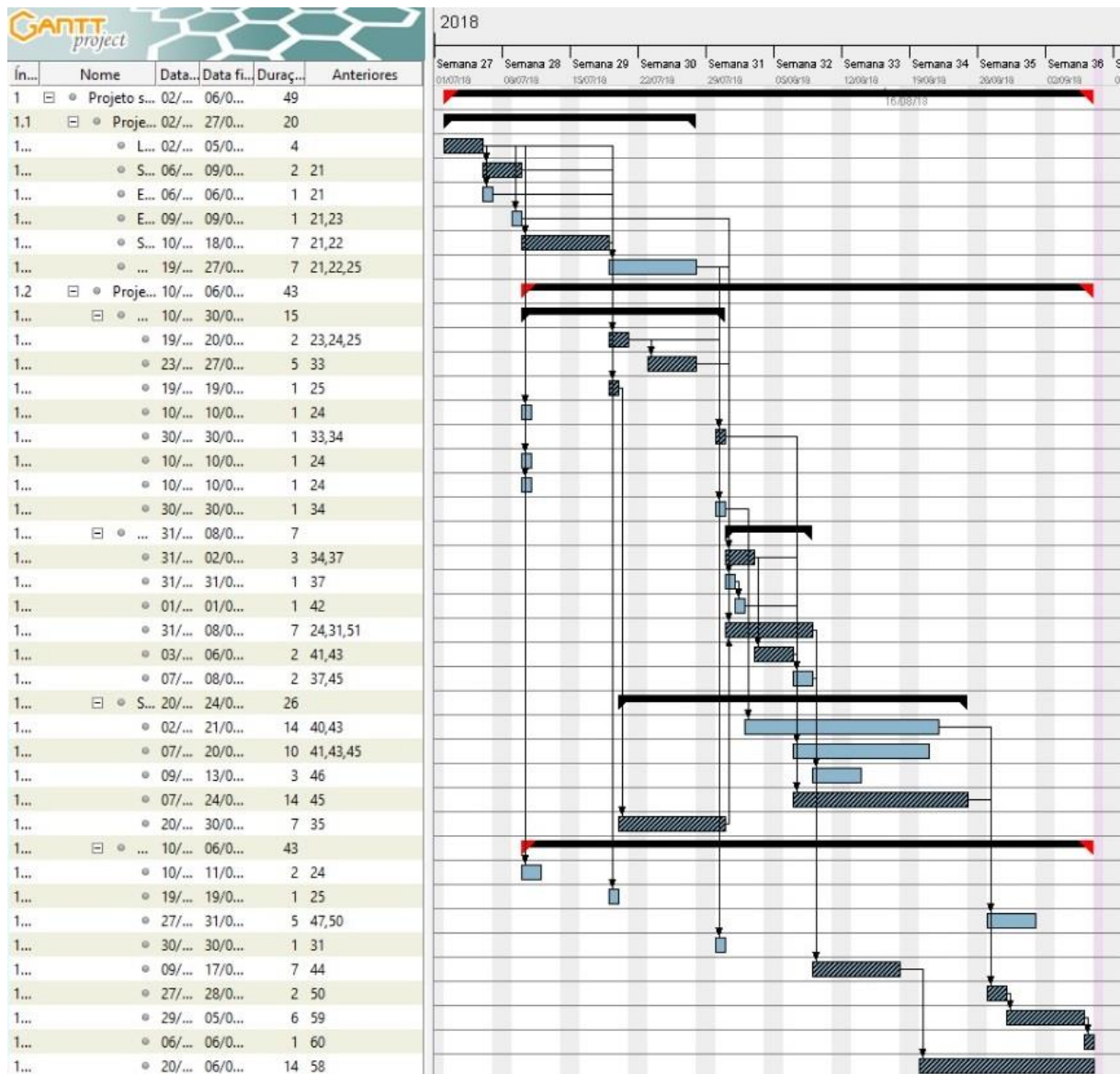


Figura 3 – Caminho crítico do projeto de suspensão.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desdobramento do projeto do sistema de suspensão da Equipe Fórmula UFVolts Majorados baseada na metodologia de projeto proposta por Project Management Institute (2009). Com os resultados alcançados neste trabalho, conclui-se que:

- Tornou-se possível uma grande economia de tempo e recursos para a equipe Fórmula UFVolts Majorados, reduzindo o tempo necessário na concepção do sistema de suspensão de um semestre para menos de dois meses;
- A gerência correta dos projetos representa benefícios incomparáveis em termos organizacionais, antevendo problemas, identificando possíveis desdobramentos e baseando as tomadas de decisões, traduzindo-se em grandes ganhos na busca pela excelência de projeto.

Em trabalhos futuros sugere-se mensurar as influências dos demais sistemas mecânicos no projeto do sistema de suspensão.

#### 5. REFERÊNCIAS

- GUIA PMBoK. “Um guia do conhecimento para gerência de projeto”. 5ª ed. Project Management Institute, Pennsylvania, 2013.
- KERZNER, H. “Gestão de projetos: as melhores práticas”. 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.