

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica

JARBAS DA CUNHA E SILVA

**A ATIVIDADE DA MODELAGEM DE ARTEFATOS TÉCNICOS E SUA
POTENCIALIZAÇÃO NA FORMAÇÃO PARA UMA ENGENHARIA CRIATIVA:
ESTUDO DE CASOS NO PROJETO BAJA UFMG**

Belo Horizonte

2023

JARBAS DA CUNHA E SILVA

Versão Final

**A ATIVIDADE DA MODELAGEM DE ARTEFATOS TÉCNICOS E SUA
POTENCIALIZAÇÃO NA FORMAÇÃO PARA UMA ENGENHARIA CRIATIVA:
ESTUDO DE CASOS NO PROJETO BAJA UFMG**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Inovação Tecnológica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Paula Antunes Lima

Belo Horizonte

2023

Ficha Catalográfica

S586a

2023

T

Silva, Jarbas da Cunha e.

A atividade da modelagem de artefatos técnicos e sua potencialização na formação para uma engenharia criativa [manuscrito] : estudo de casos no projeto Baja UFMG / Jarbas da Cunha e Silva. 2023.

1 recurso online (163 f. : il., gráfs., tabs., color.) : pdf.

Orientador: Francisco de Paula Antunes Lima.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Química (Programa de Pós-Graduação em Inovação Tecnológica).

Bibliografia: f. 148-155.

Apêndice: f. 156-163.

1. Inovações tecnológicas – Teses. 2. Projetos de engenharia – Estudo de casos – Teses. 3. Engenharia – Estudo e ensino (Educação permanente) – Teses. 4. Engenharia de protótipos – Teses. 5. Criatividade na tecnologia – Teses. 6. Solução de problemas – Teses. I. Lima, Francisco de Paula Antunes, Orientador. II. Título.

CDU 043



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de pós-graduação em Inovação Tecnológica

“A ATIVIDADE DA MODELAGEM DE ARTEFATOS TÉCNICOS E SUA POTENCIALIZAÇÃO NA FORMAÇÃO PARA UMA ENGENHARIA CRIATIVA: ESTUDO DE CASOS NO PROJETO BAJA UFMG.” JARBAS DA CUNHA E SILVA, Nº DE REGISTRO 2018701724

Tese Aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos Professores Doutores:

Professor Doutor Francisco de Paula Antunes Lima (Orientador)
(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)

Professora Doutora Adriana Maria Tonini
(Universidade Federal de Ouro Preto)

Professor Doutor José Geraldo Pedrosa
(Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET)

Professor Doutor Adson Eduardo Resende
(Colégio Técnico da UFMG – COLTEC)

Professora Doutora Ana Valéria Carneiro Dias
(PPG em Inovação Tecnológica da UFMG)

Professor Doutor Ado Jório de Vasconcelos
Coordenador do PPG em Inovação Tecnológica da UFMG



Documento assinado eletronicamente por **Ana Valeria Carneiro Dias, Subchefe de departamento**, em 04/05/2023, às 15:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do



[Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#). Documento assinado

eletronicamente por **José Geraldo Pedrosa, Usuário Externo**, em 05/05/2023, às 09:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Maria Tonini, Usuário Externo**, em 10/05/2023, às 11:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Adson Eduardo Resende, Membro**, em 11/05/2023, às 09:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Francisco de Paula Antunes Lima, Professor do Magistério Superior**, em 28/05/2023, às 10:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ado Jorio de Vasconcelos, Coordenador(a)**, em 29/05/2023, às 16:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2275861** e o código CRC **106A1D38**.

Referência:
71

Processo

nº

23072.226484/2023-

SEI nº 2275861

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Francisco, pela orientação, contribuições e críticas durante o trabalho de elaboração, e aos professores da banca de qualificação, pelas valiosas contribuições.

Ao Professor Pujatti por ter acolhido a realização da pesquisa junto à Equipe BAJA UFMG.

Aos meus irmãos, pela presença, carinho e apoio irrestrito ao longo deste percurso.

Aos aprendizes engenheiros da Equipe BAJA UFMG, por me acolherem como pesquisador aprendiz durante as várias atividades que presenciei, inclusive a ida à competição nacional de 2020. Especialmente aos estudantes entrevistados, pela paciência e seu precioso tempo fornecendo informações técnicas das soluções desenvolvidas no projeto, bem como relatando sua vivência no projeto. A vocês, meu muitíssimo obrigado, pois sem essa contribuição não haveria esta pesquisa.

“[...] somente pela atividade podemos transformar o presente [...]”
(LEV VYGOTSKY)

RESUMO

Esta pesquisa visou a compreender o processo de desenvolvimento de artefatos técnicos, por meio do estudo de casos do Projeto BAJA, da Escola de Engenharia da UFMG. Essa experiência formativa envolve o “fazer técnico” no universo da engenharia mecânica, com os estudantes – aprendizes engenheiros - sendo incentivados a desenvolver e construir um protótipo de veículo *offroad*, por meio do processo projetual e do design em engenharia. Tal atividade diz respeito a idealizar uma solução, validá-la e concretizar proposições em artefatos funcionais. Foi sobre a atividade da modelagem de três artefatos técnicos - o Mecanismo de Esterçamento Traseiro, o *Steering Link* Pneumático e componentes do mecanismo *Continuous Variable Transmission* - que esta pesquisa se debruçou. Nessa atividade, o estudante é estimulado a explorar possibilidades e converter situações restritivas e problemas indeterminados em soluções coerentes. A questão de pesquisa foi, então, compreender como, a partir do processo de desenvolvimento de um artefato técnico, é possível fomentar uma engenharia criativa, mesmo com a racionalidade técnico-científica e o modo funcionalista de pensar em termos de fundamentos determinísticos predominantes na área da engenharia. Para subsidiar a pesquisa, buscamos aprofundamento teórico no campo do design em engenharia, da formação e aquisição de habilidades, da teoria da atividade, dentre outras perspectivas e abordagens adjacentes, presentes em autores como Cross, Schön, Simondon, Simon, Alexander, Bucciarelli, Dorst, Boden, Petroski, Dreyfus, Vygotsky, Dewey, Engeström, dentre outros. Esta pesquisa é eminentemente qualitativa, descritiva e analítica e o método e a orientação adotados foi a abordagem da *Grounded Theory*; a partir da análise das ações realizadas e dos processos envolvidos, bem como de entrevistas, observação e pesquisa documental, procedemos a codificação e sistematização dos dados. Assim, foi possível estabelecer três campos ou dimensões da atividade como categorias de análise - o espaço do design, a experimentação e a adaptação -, que nos permitiram elaborar um construto teórico e nos possibilitaram uma análise qualitativa da atividade do design, atendendo à questão e ao objetivo da pesquisa. O que a pesquisa de campo e as análises revelaram foi que, a partir do enfrentamento das indeterminações inerentes ao processo do design, ao passo que o estudante busca se amparar em saberes teóricos disciplinares quando manipula dados paramétricos do espaço do design, ele é levado também a se amparar em conhecimento experiencial, o que abre espaço para que sua intuição, memória e capacidade combinatória da imaginação se manifestem. Isso permite a ele elaborar alternativas, integrar as condições de contorno restritivas e mesmo suplantar as indeterminações, criando novas composições. Esse processo é viabilizado pela reflexão e análise dos dados do espaço do design na experimentação e por meio da capacidade de síntese, levando o estudante a construir forma e estrutura a uma proposta de solução, atribuindo estabilidade às tensões verificadas entre os elementos constituintes do problema, promovendo a concretização da proposição inicial ou de suas revisões geradas pela experimentação, tornando-as soluções adaptadas ao contexto em que se encontram, funcionais e criativas. Assim, esta pesquisa defende a tese de que, frente às restrições e incertezas do processo, bem como às limitações que o saber técnico-científico pode vir a impor, o estudante, pela reflexão imanente à atividade, avalia e ajusta as próprias ações pelo acionamento dos diversos saberes, disciplinares e experienciais - estes advindos da própria vivência prática ao lidar com indeterminações a que o projeto está sujeito - de modo a concretizar proposições em um artefato técnico promovendo, em grande medida, uma formação efetiva em engenharia, não somente aquela baseada em pensamento analítico e saberes disciplinares, mas também a formação em uma engenharia mais criativa, visto que a criatividade é gerada na própria vivência do fazer técnico e do processo investigativo deflagrado pelo problema inicial.

Palavras-chave: Design em Engenharia. Problemas Indeterminados. Educação em Engenharia. Protótipo. Criatividade.

ABSTRACT

This research aimed to understand the development process of technical artifacts through the case study of the BAJA project at the UFMG School of Engineering. This formative experience involves “engineering practice” in the universe of mechanical engineering when students – apprentice engineers - are encouraged to develop and build an offroad vehicle prototype through the design process and engineering design. Such activity concerns idealizing a solution, validating it, and achieving propositions in functional artifacts. It is in the activity of modeling three technical artifacts - the Rear Steering Mechanism, the Pneumatic Steering Link and components of the Continuous Variable Transmission mechanism (CVT) - that this research has focused, when the student is encouraged to explore possibilities and convert restrictive situations and undetermined problems into coherent solutions. The question of the research was then to comprehend how it is possible to foster creative engineering from the process of developing a technical artifact, even with the technical-scientific rationality, and the functionalist way of thinking in terms of deterministic foundations that are predominance in Engineering. To subsidize the research, we seek theoretical deepening in the field of engineering design, education and acquisition of skills, activity theory, among other adjacent perspectives and approaches; and in authors such as Cross, Schön, Simondon, Simon, Alexander, Bucciarelli, Dorst, Boden, Petroski, Dreyfus, Vygotsky, Dewey, Engeström, among others. This research is eminently qualitative, descriptive, and analytical. As a method and guidance, the approach of the Grounded Theory was adopted and, from the analysis of the actions taken and the processes involved, as well as interviews, observation, and documentary research, the codification and systematization of the data proceeded, so it was possible to establish three fields or dimensions of activity as categories of analysis - design space, experimentation, and adaptation - which allowed us to elaborate a theoretical construct and enabled a qualitative analysis of design activity in fulfilling the question and objective of the research. Field research and analysis revealed that by facing the indetermination inherent in the design process, while students seek to support themselves in disciplinary theoretical knowledge when they manipulate parametric data from design space, the experience also leads to experiential knowledge, making room to manifest intuition, memory and the combinatory capacity of imagination, which ultimately allows them to elaborate alternatives and integrate restrictive boundary conditions, and even supplant the indetermination creating new compositions. This process is made possible by reflection and analysis of design space data in experimentation phase and through synthesis capacity that leads the student to build form and structure to a proposal of a solution by attributing stability to the stresses verified between the constituent elements of the problem promoting the realization from the initial proposition, or their revisions generated by experimentation, making them in solutions adapted to the context in which they are, functional and creative. Thus, this research defends the thesis that, in the face of the restrictions and uncertainties of the design process, as well as the limitations that technical-scientific knowledge may impose, students reflect on the activity, evaluates and adjusts their actions by activating knowledge, disciplinary and experiential - these arising from the practical experience itself in dealing with indetermination to which the project is subject - to achieve propositions in a technical artifact and promoting to a large extent an effective education in engineering, not just that based on analytical thinking and disciplinary knowledge, but also in a more creative engineering education, since creativity is generated in the very experience of “technical doing” and the investigative process triggered by the initial problem.

Keywords: Engineering design. Indeterminate Problems. Engineering Education. Prototype. Creativity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

QUADRO 1 - OS PASSOS DO PROCESSO PROJETUAL.....	69
FIGURA 1 - COMPONENTES DO MECANISMO DE ESTERÇAMENTO TRASEIRO.....	72
FIGURA 2 - ESBOÇO E FORÇAS ATUANTES DO MET.....	74
FIGURA 3 - PRIMEIROS ESBOÇOS DO MET.....	75
FIGURA 4 - SIMULAÇÃO DE VARIAÇÃO MET.....	82
FIGURA 5 - SUBSISTEMA SUSPDIR E DETALHE DO STEERING LINK.....	86
FIGURA 6 - PRIMEIRO ESBOÇO DO SL PNEUMÁTICO.....	88
FIGURA 7 -SEGUNDO ESBOÇO DO SL PNEUMÁTICO VISTA SECCIONADA.....	89
FIGURA 8 - ESBOÇO DO SL COM LOCALIZAÇÃO DE VÁLVULA DE AR.....	91
FIGURA 9 - MODELAGEM MATEMÁTICA, CÂMARA DE AR SL PNEUMÁTICO.....	92
FIGURA 10 - TERCEIRO ESBOÇO COM CÂMARA EMBUTIDA NA HASTE.....	94
FIGURA 11 - CVT GAGED GX9 DE 2015, MOTOR E CAIXA DE ENGRENAGENS.....	97
FIGURA 12 - CVT PR7-03 DE 2018.....	100
FIGURA 13 - POLIA MOTORA CVT PR7-03 R01, FRENTE E CORTE EM SEÇÃO.....	101
FIGURA 14 - POLIA MOTORA CVT PR7-03, RENDERIZAÇÕES R01 E R02.....	102
FIGURA 15 - POLIA MOTORA DA CVT PR7-03, VERSÃO R03.....	103
FIGURA 16 - POLIA MOTORA CVT PR7-03, VERSÃO R04.....	104
FIGURA 17 - POLIA MOTORA CVT CR7-03, VERSÃO R08.....	105
FIGURA 18 - DETALHE DA POLIA R08.....	106
FIGURA 19 - POLIA MOTORA CVT PR7-04 DE 2019	107
FIGURA 20 - CONTRAPESOS DA POLIA MOTORA CVT PR7-03.....	108
FIGURA 21 - POLIA MOVIDA DA CVT 2017 DETALHE DO SUPORTE DE ROLETES.....	109
FIGURA 22 - DESENVOLVIMENTO SUPORTE DE ROLETES POLIA MOVIDA CR7-03...110	
FIGURA 23 - POLIA MOVIDA CVT PR7-03 DE 2018.....	111
FIGURA 24 - POLIA MOVIDA CVT PR7-04 DE 2019 SUPORTES DE ROLETES INTEGRADOS.....	112
FIGURA 25 - CODIFICAÇÃO FOCALIZADA PARTIR DAS ENTREVISTAS.....	118
FIGURA 26 - O PERCURSO DA MODELAGEM DE SOLUÇÕES.....	119
QUADRO 27 - CATEGORIAS DE ANÁLISE.....	120
FIGURA 28 - A LEITURA DO ESPAÇO DO DESIGN.....	122
FIGURA 29 - REDIMENSIONAMENTO DA CÂMARA DO SL PNEUMÁTICO.....	125
FIGURA 30 - A DINAMICA DAS AÇÕES NA EXPERIMENTAÇÃO.....	133
FIGURA 31 - EVOLUÇÃO POLIA MOTORA CVT PR7-03 A PR7-04.....	136
FIGURA 32 - RESUMO DOS CASOS E PERCURSO DA MODELAGEM.....	138
FIGURA 33 - O PROCESSO DA MODELAGEM E RELAÇÃO ENTRE CATEGORIAS.....	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAE - *Society of Automotive Engineers*

TRIZ - Teoria da Resolução Inventiva de Problemas

SUSPDIR - Suspensão e Direção

NA - Núcleo Administrativo

GT - *Grounded Theory*

CVT - *Continuous Variable Transmission*

CNC - Controle Numérico por Computador

PMBOK - *Project Management Book of Knowledge*

MET - Mecanismo de Esterçamento Traseiro

BSP - Barra de Sustentação Principal

SL - *Steering Link*

ML - *Multi Link*

PR7 - Pedro, Rafaela, e Sete

MEF - Método de Elementos Finitos

R01 - Renderização 01

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
2 A ATIVIDADE DO DESIGN EM ENGENHARIA, A MODELAGEM E O FOMENTO A UMA ENGENHARIA CRIATIVA - PERSPECTIVAS TEÓRICAS.....	27
2.1 SOBRE A ATIVIDADE DA ENGENHARIA, DE PROJETOS E A RELAÇÃO COM O DESIGN.....	27
2.2 SOBRE A MODELAGEM, A EXPERIMENTAÇÃO E A CRIATIVIDADE.....	34
2.3 SOBRE A APRENDIZAGEM E A FORMAÇÃO EM DESIGN EM ENGENHARIA	46
3 MÉTODO.....	55
3.1 O MÉTODO - PERSPECTIVA GERAL.....	56
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS UTILIZADOS.....	57
3.2.1 <i>Sobre o estudo de caso</i>	57
3.2.2 <i>Entrevistas e a construção das narrativas</i>	59
3.3 TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS: CODIFICAÇÕES	60
4 A EQUIPE BAJA UFMG E OS CASOS DE ESTUDO.....	62
4.1 SOBRE A EQUIPE E SEU CONTEXTO	62
4.2 AS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS, O PROCESSO PROJETUAL E O PROJETO TÉCNICO	65
4.2.1 <i>A gestão do processo projetual e do projeto técnico</i>	68
4.2.2 <i>As fases “previstas” do processo do projeto</i>	68
4.3 OS CASOS DE ESTUDO.....	71
4.3.1 <i>O caso da modelagem do Mecanismo de Esterçamento Traseiro - MET</i>	71
4.3.2 <i>O caso da modelagem do Steering Link pneumático</i>	85
4.3.3 <i>Sobre o desenvolvimento e modelagem do mecanismo da Transmissão Continuada Variável, a CVT (Continuous Variable Transmission)</i>	97
5 RESULTADOS E ANÁLISES DA PESQUISA DE CAMPO.....	118
5.1 SOBRE O ESPAÇO DO DESIGN.....	121
5.2 A EXPERIMENTAÇÃO.....	128
5.3 A ADAPTAÇÃO.....	133
5.4 RESUMO DAS AÇÕES TOMADAS NOS TRÊS CASOS RELATADOS E RELAÇÕES ENTRE AS CATEGORIAS	137
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	140
REFERÊNCIAS.....	148
APÊNDICE 1 – AMOSTRA DE ENTREVISTA E CODIFICAÇÕES	156

1 INTRODUÇÃO

No âmbito da educação profissional tecnológica de nível superior, que busca integrar a compreensão dos fundamentos científicos dos processos produtivos com suas aplicações técnicas, consideramos aqui a área das engenharias, na qual constata-se a confluência do binômio ciência e tecnologia em suas diversas áreas de especialização. No Brasil, persistem práticas tradicionais de transmissão de conhecimentos, que seriam assimilados passivamente pelos estudantes, num formato expositivo, conteudista, compartimentalizado e com pouca prática. Isso evidencia a necessidade de mudanças no modelo educacional, além da adequação e incorporação de novas práticas ao percurso formativo, de maneira a tornar a formação em engenharia mais efetiva e integral (SOUZA et al, 2010; OLIVEIRA, 2005; LODER, 2009; SANTOS, 2014; GRIMONI, 2012; FERNANDEZ e al, 2017). No exterior, a necessidade de transformação da educação em engenharia também é percebida e diversos autores (BEKKER; SMIT, 2019; FINLAY; PAPWORTH, 2019; CROPLEY et al, 2017) apontam a fragmentação e a lacuna no aprendizado em relação a temas e aplicações aos problemas da vida real, à supressão de oportunidades de aprendizagem e comportamentos criativos e à distância entre experimentação e implementação por meio de atividades práticas. Lauff et al (2018, p. 3), por sua vez, argumentam que há necessidade de se aprofundar o entendimento sobre as práticas de Design na engenharia, um campo que, ao projetar e desenvolver conceitos e soluções em termos de evolução dos artefatos, incorpora, em seus processos e métodos, dimensões/aspectos não meramente “técnicos”, como é comumente percebido na prática da engenharia.

Ademais, dada a complexidade e transdisciplinaridade dos fenômenos da realidade (MORIN, 2010), há necessidade e o desafio de, na atualidade, se formar um profissional especialista e, ao mesmo tempo, generalista, com formação técnico-científica, ética, humana, crítica, reflexiva, criativa, com visão sistêmica e com mentalidade integradora de saberes. Segundo Zhou (2012), dada a incerteza de um mundo em constante mudança, os engenheiros precisarão também de formação continuada e foco no dinamismo, na agilidade e na flexibilidade em suas práticas, para que possam superar adversidades.

Nessa perspectiva, mais do que reproduzir conhecimentos, a formação deve desenvolver habilidades cognitivas avançadas, capacitando estudantes a analisar, sintetizar, avaliar e criar novos conceitos e aplicações (BLOOM et al, 1954; ARMSTRONG, 2016). Cursos, projetos e programas de formação baseados em uma abordagem que contemple o desenvolvimento de habilidades e competências devem, a partir da mediação pedagógica e de práticas problematizadoras, integradoras e mobilizadoras de saberes, adotar pedagogias ativas, como

projetos e situações-problema (PERRENOUD, 1999). No entanto, boa parte dessas proposições, mesmo contidas nas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCN) para a formação em engenharia, ainda permanecem programáticas, sem influenciar práticas e conteúdos do ensino da engenharia. Ou seja, nos moldes em que é majoritariamente oferecida, a formação não estaria promovendo o que se espera do engenheiro contemporâneo: um profissional com habilidades e competências gerais e específicas associadas às suas atividades, capaz de responder a demandas da realidade por melhorias e inovações em processos, produtos e serviços, visando ao progresso da sociedade.

Buscando alcançar a missão institucional de promover experiências educativas efetivas e o desenvolvimento de habilidades e competências, a UFMG oferece a possibilidade de participação de estudantes em atividades extracurriculares, como as equipes de competição, nas quais os participantes podem desenvolver atividades de projeto. Dentre esses projetos, destaca-se a Equipe BAJA UFMG, uma atividade complementar à formação de engenheiros da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Essa experiência de formação tem como finalidade aproximar o estudante - o aprendiz de engenheiro - da realidade e da prática da engenharia, propiciando a experiência de projetar, desenvolver e construir um produto, que deve passar por provas de desempenho em situações reais. A equipe desenvolve um protótipo de veículo *off-road* para participar das competições da SAE Brasil (*Society of Automotive Engineers*). No contexto da competição, da aprendizagem e da formação, o projeto visa tanto expor os estudantes ao desafio prático de projetar soluções técnicas – o que leva a avanços incrementais do protótipo a cada ano - quanto ao desenvolvimento de habilidades e competências individuais vinculadas à atividade projetual em engenharia. É necessário destacar que o BAJA UFMG é um projeto educativo que apresenta características vinculadas às teorizações da pedagogia ativa e do socioconstrutivismo, embora seu Estatuto não faça nenhuma menção a isso. A ênfase é na aprendizagem que se realiza por meio da abordagem por projeto ou por resolução de problemas, quando o estudante, de forma ativa, interativa, reflexiva, pragmática e experimental, descobre conteúdos, desenvolve habilidades e competências e (re)constrói e absorve conhecimentos pelo *aprender fazendo*, na interação com o contexto (DEWEY, 1979), tornando a aprendizagem significativa¹ e efetiva. Nessa perspectiva, a

¹ Para David P. Ausubel (1968), a aprendizagem significativa é resultante de um processo no qual a informação, um novo significado ou conhecimento são relacionados e associados de forma não arbitrária e substantiva ao que o indivíduo já reconhece em sua estrutura cognitiva e de significados. Assim, novas ideias são ancoradas e aceitas (subsumidas como algo que faz parte de um todo) e/ou ajustadas em uma base e repertório de significados já existentes. O termo também é comumente compreendido como sendo aquela aprendizagem portadora de valor e sentido atribuído pelo indivíduo.

aprendizagem é um processo baseado na experiência vivida ao se resolver problemas e na geração e incorporação de saberes diversos pelo indivíduo.

Assim, esse projeto formativo que visa possibilitar ao estudante a prática de projetar e modelar uma ideia, transformando-a em uma solução, em um artefato técnico, é o caso empírico que nos ofereceu subcasos de estudo e serviu de base às questões e reflexões apresentadas nesta pesquisa. Portanto, as questões sensibilizadoras que, inicialmente, motivaram este estudo foram: compreender como os estudantes desenvolviam as soluções de aprimoramento do protótipo e como fatores e condições desse processo formativo levariam ao desenvolvimento de habilidades e competências em futuros engenheiros. O trabalho da equipe compreende um conjunto de atividades (detalhadas no capítulo 4) que configuram o processo projetual, que compreende a ideação/concepção, desenvolvimento de conceito/modelagem, prototipagem/construção, testes e avaliação/revisão.² Circunscrito a esse processo, ocorre, concomitantemente, a prática de uma atividade de design em engenharia, uma vez que construir soluções para problemas de engenharia está essencialmente relacionado à atividade do design de soluções.

Comumente engenheiros são os profissionais que projetam, desenham, inventam e aprimoram artefatos, construções em geral, processos de trabalho e tecnologias, por isso o ofício da engenharia está fundamentalmente relacionado à atividade de projetar soluções.³ Projetar algo é um processo que começa na concepção de ideias, na projeção de “produtos”, na resolução de demandas e problemas diversos, na reelaboração de ideias. Envolve hipóteses, estudos, experimentações, análises e, posteriormente, a execução e implementação do que se pretendeu construir, sendo um processo complexo, não linear, no qual se entrecruzam várias técnicas de trabalho. Obviamente, projetar faz parte da profissão, da mentalidade e da arte do engenheiro, o profissional que, inventivamente, oferece e constrói soluções, dando forma a ideias ou, ainda, idealizando uma forma “adequada” para resolver um problema prático. Esse processo está por

² Devido à grande variedade de modelos e métodos para processos de design e mesmo de projetos, essas denominações/nomenclatura das fases variam.

³ A palavra engenharia é proveniente de “engenho” que, por sua vez, tem origem etimológica no latim “ingenium”, formada pelo prefixo “in”, que se refere ao interior de algo e tem raiz no indo-europeu “gen” de “gignere” (que significa gerar, produzir), seguido do sufixo “genium”, que se refere ao agente do artefato, sua característica ou qualidade gerada. Inicialmente, a palavra se aplicou a quaisquer equipamentos mecânicos; posteriormente, se desdobrou e passou também a se referir ao engenheiro, àquele que constrói e/ou controla tais artefatos, bem como ao conjunto de atividades relacionadas ao projeto e à construção de artefatos: a engenharia. Há, ainda, outras derivações, como “engenhosidade”, significando qualidade daquele que é engenhoso, criativo, inventivo, denotando a destreza do inventor ou do próprio artefato. Disponível em: <https://origemdapalavra.com.br/palavras/engenharia/>; <https://etimologia.com.br/engenharia-engenheiro/> e <https://www.dicio.com.br/engenhosidade/>. Acesso em: 20/02/2021.

trás de qualquer atividade que vise à concepção e construção de soluções, podendo ser configurado no processo e nas atividades de um “projeto” ou, em termos mais amplos, nas atividades de design. Ambos os processos - projetual e de design - são intrínsecos à atividade da engenharia e são complexos por natureza. Eles envolvem atores e fatores intervenientes diversos, objetivos e subjetivos, internos e externos, que se desenrolam em um contexto de ambiguidades, diferenças de interesses e incertezas de toda ordem, sendo, ainda, processos frequentemente “sistemáticos, criativos, dinâmicos [e] produtivos” em relação a alguma finalidade específica (KELLY et al, 2008, p. 13).

Atualmente, o significado de design foi ampliado, abarcando outras dimensões além da estética - como a dimensão social e a da sustentabilidade ecológica, bem como os aspectos ergonômicos e de funcionalidades etc. -, sendo resultado das necessidades, desejos e da interação dos indivíduos com seu entorno. No entanto, para o senso comum, a área de Design é aquela que, eminentemente, se ocupa da concepção de produtos finais para o consumidor, se preocupando, prioritariamente, com a forma externa dos artefatos e com a sensação da experiência que pode ser oferecida aos usuários. É como se o design pensasse nos produtos de fora para dentro, para somente depois se ocupar da sua estrutura e funcionamento interno.

No entanto, o desenvolvimento de produtos na engenharia prioriza a visão de “dentro para fora”; pensa-se primeiro nos elementos, fatores e princípios das ciências básicas que possam levar ao propósito, ao funcionamento e à efetiva utilidade dos produtos, para, num segundo momento, se pensar na aparência. Porém, para Nigel Cross (2008), princípios e abordagens de design não se diferenciam para os campos de design industrial (voltado para produtos finais) ou design de engenharia (voltado para máquinas, equipamentos, edificações, sistemas, processos etc.); ambos os campos tratam do desenvolvimento de soluções de design de “produtos”, ou seja, design em geral. A engenharia e o design têm em comum o fato de se ocuparem em saber “como as coisas podem ser, com o design” (SIMON, 1996, xii) das coisas, em descobrir como lidar com as contingências do entorno, com as possibilidades, em identificar como fazemos para transformar ideias em produtos, serviços e processos. Dessa forma, em engenharia também se faz design, e o design em engenharia é um campo fértil para a empreitada de projetar soluções para problemas e necessidades práticas e para o desenvolvimento de novos e/ou melhores “produtos”, por meio do processo projetual.

Mas projetar soluções pode não ser trivial, pois problemas de design são, geralmente, problemas indeterminados ou mal-estruturados com informações incompletas e incertezas de toda ordem. Nesse caso, o campo conceitual e/ou as condições de contorno do problema não

são definidos de antemão com o conhecimento disponível (SIMON, 1973, p. 187) ou, melhor dizendo, o problema indeterminado diz respeito à incerteza e à natureza desconhecida do resultado de uma tarefa (TRACEY; HUTCHINSON, 2016 apud CASH; KREYE, 2018, p. 53). Ou seja, trabalhar com o “indeterminado” é trabalhar com o que relativamente está no “limite” do que é “conhecido”. Portanto, construir uma solução para um problema indeterminado envolverá tentativas, criatividade, testes, avaliação e escolhas de soluções coerentes e factíveis, fabricáveis e funcionais.

Projetar, modelar e desenhar algo que ainda não existe - ou que relativamente não existe, como no caso de aprimoramentos de artefatos existentes - implica no enfrentamento de situações/problemas mal-estruturados e indeterminados. Nesse contexto, o design em engenharia possibilita um exercício em áreas de indeterminação ou incerteza - campos/espacos de experimentação, idealização e desenvolvimento de uma ideia -, nas quais os problemas e as potenciais soluções emergem (CROSS, 2018) a partir da prática e do desenvolvimento de habilidades e estratégias cognitivas diversas, como a análise, a síntese, o pensamento divergente, analogias e, ainda, a partir do uso de modelos e metodologias, como o *design thinking*, o foco na experiência do usuário final, o *brainstorming*,⁴ as metodologias ágeis, o uso da metodologia TRIZ,⁵ dentre outros recursos como a prototipagem física, a engenharia reversa etc. O uso de estratégias possibilita o fomento à criatividade na elaboração de alternativas e combinações para possíveis soluções, bem como o alcance de um melhor design, potencializando o alcance de novidade e originalidade para além dos *tradeoffs* básicos de performance, simplicidade, integração e economicidade, problemas de design típicos entre requerimentos e soluções almejadas (ALEXANDER, 1964).

Entretanto, deve-se considerar que há, subjacentemente aos projetos e processos de design, paradigmas ou visões e modos de abordagem que orientam/conduzem - não necessariamente de forma deliberada ou consciente - o desenvolvimento das atividades e que são evidenciados nas ações dos atores envolvidos e nas decisões tomadas por eles. Exemplo disso é a crença de que o racionalismo ou a razão instrumental e o saber científico dariam conta da resolução e predição de todos os passos e ações dos indivíduos envolvidos em um projeto, considerando-o como algo linear e puramente racional para resolver problemas. Tal paradigma

⁴ Literalmente, tempestade de ideias; trata-se de um método para geração de novas ideias sobre um tema ou problema, geralmente realizado por um grupo de pessoas, não sendo permitidas críticas, para que seja gerado o maior número de ideias possíveis (CROSS, 2008, p. 50).

⁵ O método TRIZ é uma metodologia que busca evidenciar as contradições técnicas durante o processo de geração de soluções. Para aprofundamento, ver *The innovation algorithm* (ALTSHULLER, 2007).

é o mesmo que, predominantemente, permeia a formação, a ética e o enquadramento teórico dos engenheiros, tanto na identificação de problemas quanto na busca por soluções ótimas, ressaltando que, no caso específico, estamos tratando de aprendizes já inseridos no universo da engenharia e no paradigma da racionalidade. Há, aqui, um paradoxo: ao mesmo tempo que a inovação pressupõe a apropriação de saberes historicamente construídos e uma mentalidade analítica, pressupõe também, e talvez até mais, um relativo afastamento das certezas e do saber estabelecido, um alargamento de perspectivas, de campos conceituais e de experiências, a extensão das ideias, caminhos e visões e, também, combinações alternativas para a composição, modelagem e construção de soluções. Porém, tal paradoxo não é impeditivo para a expansão de áreas de conhecimento, bem como a criação e o aprimoramento de artefatos, pois sempre haverá espaço para potenciais novidades em qualquer campo, dada a incompletude de soluções prévias. A criatividade emerge da relação do indivíduo com seu meio, sendo uma capacidade sistêmica (ZAVADIL et al, 2016, p. 2), que envolve processos cognitivos e experienciais, traços de personalidade, motivação e ambiente favorável. Como nos lembra Ellis Paul Torrance (1965), a criatividade é inerente à atividade humana na busca por sanar suas necessidades, incompletudes, desarmonias e tensões da realidade prática disparando a partir daí um processo de investigação, diagnóstico, manipulação, suposições e hipóteses, estimativas, testes, retestes, modificações que em última instância geram uma descoberta (TORRANCE, 1965:664), ou um aprimoramento investido em uma nova solução criativa.

A despeito do racionalismo presente na área da engenharia e considerando o modo como os projetos e processos são geralmente conduzidos, podemos pensar nessa condução sob outra perspectiva, outro paradigma, como um percurso projetual de *reflexão em ação* e escolhas (SCHÖN, 2000). Nessa direção, um projeto é, fundamentalmente, um caminho de reflexões acerca de uma ideia inicial que vai se desenvolvendo conforme a situação e o contexto e situações de contorno, dentro do qual o indivíduo envolvido vai construindo uma relação entre o campo ou área de domínio onde o problema se localiza e os diversos campos e áreas de domínio dos quais as prováveis soluções podem emergir. Segundo SCHÖN (2000, p. 43), a visão da racionalidade instrumental na resolução de problemas de design de Herbert A. Simon (1996) ignora as singularidades, a incerteza e conflitos inerentes ao processo de trabalho, colocando o indivíduo que se encontra em uma situação projetual ou de design em um dilema entre o rigor da racionalidade instrumental - o conhecimento técnico-científico - e a relevância de aprender com as singularidades da situação, com a possibilidade de adquirir o que é estruturante para o efetivo exercício de uma prática habilidosa em determinado campo de

trabalho: a experiência de se alcançar a perspicácia, o talento e a intuição pela própria experiência vivida. Diferente de uma visão baseada em um paradigma da certeza, vinculada ao conhecimento estabelecido, a perspectiva de Schön (2000) é vinculada a um paradigma da incerteza, no qual o indivíduo “se apoia sobre o que há de singular e incerto em cada interação para se auto regular na ação” (SAINT-ARNAUD, 2001, p. 22).

A despeito dessa distinção entre perspectivas - visão racionalista e funcionalista versus visão processual e situacional -, que podem, em maior ou menor grau, influenciar de forma subliminar ou não a condução de um projeto ou de um processo de design, consideramos que, ao abordar ou conduzir um projeto, faz sentido a adoção de uma visão integradora, vinculada tanto à ação por meio dos diversos saberes e experiências quanto às mudanças e à configuração do contexto, dadas pelas próprias ações e escolhas dos indivíduos envolvidos. Com a adoção dessa postura, o trabalho ganha valor e sentido para o indivíduo envolvido, assim como o *artífice*⁶ que se engaja num trabalho onde “o pensamento e o sentimento estão contidos no processo do fazer” (SENNET, 2020, p. 17), configurando-se no objeto trabalhado ou no problema solucionado.

Segundo Cross (2018, p. 10), a habilidade em design/projetar compreende habilidades de resolução de problemas mal definidos, com adoção de estratégias cognitivas focadas na solução e emprego de pensamento abduutivo. Para o autor, tais habilidades estariam presentes em certo grau em todos os indivíduos, sendo também passíveis de serem desenvolvidas. Entretanto, tal assertiva se apresenta de forma ampla, o que é compreensível, uma vez que fazer design envolve diversas ações, processos, dimensões, interações e decisões, tanto práticas do enfrentamento de problemas imediatos e mesmo problemas antecipados quanto questões, relações, recursos e decisões no nível cognitivo. Dito de outra forma, desenvolver uma solução envolve, indissociavelmente, tanto uma dimensão prática vinculada ao conhecimento experiencial e à intuição do indivíduo no enfrentamento de problemas reais quanto uma dimensão cognitiva, vinculada aos saberes e recursos cognitivos.

Tal situação complexa, presente no cerne da atividade do design em engenharia, leva ao desdobramento da pergunta inicial desta pesquisa, suscitando questionamentos complementares: como se dá a formação e o desenvolvimento de um engenheiro criativo,

⁶ Sennet (2020, p.17) escreveu sobre a habilidade do artífice - o *homo faber*, *aquele que faz*, e se dedica a fazer um trabalho permeado pelo sentimento e o pensamento, a mão e a cabeça juntos no processo do fazer – para diferenciá-lo do *animal laborens* - aquele trabalhador alienado que considera o trabalho como um fim em si mesmo, sem sentido ou sem prazer.

engenhoso, que concebe uma solução criativa para um problema, ainda que sob a predominância do enquadramento racionalista/funcionalista presente na área da engenharia? Ou seja, como o estudante, a partir de um problema ou situação indeterminada, elabora a construção de uma solução criativa, derivando-a de um espaço de design restritivo e sujeito ao enquadramento racionalista e eminentemente baseado em parâmetros e metas? Como a indeterminação afeta a ação no percurso de configuração de uma solução de design? E como pode afetar o desenvolvimento da habilidade de modelar uma solução de design em engenharia? Como o estudante explora, no espaço do design, as possibilidades de solução durante a atividade e a aprendizagem do design em engenharia?

No horizonte da formação em engenharia, na pré-formação profissional, ainda na escola, e mesmo quando os egressos já estão em exercício profissional, o engenheiro habilidoso, criativo ou engenhoso seria aquele com habilidade tanto específica quanto abrangente, tanto racional quanto intuitiva; aquele capaz de desenvolver soluções adequadas às condições do problema e seu entorno. Assim, é interessante que o estudante de engenharia passe pela vivência e aprendizagem do processo de design em engenharia, enfrentando indeterminações e harmonizando os enquadramentos racionalista e situacional. É pertinente que coloque em jogo conhecimentos e experiências no processo de modelagem de uma ideia inicial e suas condições de contorno, até chegar a uma solução concreta e factível, isto é, indo de uma situação problemática indeterminada a uma situação/solução possível e satisfatória.

Inserida no processo projetual, isto é, no processo de transposição de uma ideia para o objeto elaborado, a atividade da modelagem se mostra fundamental, uma vez que modelar é o processo de construir uma representação e dar forma a uma ideia ou idealizar uma forma antevendo as condições em que o objeto projetado irá existir. A modelagem é a criação de uma representação formal, seja física ou virtual, a partir do mundo experiencial, quando percebemos e fazemos escolhas dos elementos que nos interessam ou que são relevantes no contexto do espaço e tempo (ROSEN apud METCALF, 2019, p. 373). É na jornada do desenvolvimento de uma solução nova que o exercício da modelagem se apresenta como o momento e o campo das experimentações, possibilidades e composições; é quando a ideia ganha forma(s). A experiência da modelagem, oferecida na atividade de design em engenharia, se torna um exercício de antecipação de relações entre elementos constituintes do problema e as condições de contorno, envolvendo, fundamentalmente, a exploração de possibilidades, as hipóteses, bem como o trânsito entre as dimensões do real/concreto e do abstrato (BUCCIARELLI, 1996). Por meio dela, o indivíduo reflete e elabora possibilidades de ação, além de antever problemas, novas

circunstâncias e interferências, se deparando com as condições de contorno, avaliando a viabilidade de fabricação, tentando solucionar novos problemas e falhas que surgem, efetivando testes e mesmo revisões e iterações sobre a ideia inicial. Portanto, a modelagem é um momento representativo de todo o processo projetual, pois condensa e/ou capta outros momentos do projeto. A partir da modelagem, “vendo como e fazendo como [...] se produz um novo modelo da situação, mas os experimentos imediatos com os quais [se] testa aquele modelo no mundo virtual do bloco de desenho também funcionam como ações transformadoras e testes exploratórios” (SCHÖN, 2000, p. 70); pois é “a atividade de desenhar ou modelar que provê as circunstâncias nas quais o designer se coloca na situação e se engaja na exploração de ambos problema e solução” (CROSS, 2011, p.47).

O percurso investigativo e de descobertas possibilitado pelo processo projetual é consoante ao processo do design e converge, então, para a fase do refinamento das ideias, nas modelagens e simulações realizadas, momento que se constitui em experimentações e possibilidades para soluções. Como nos lembra Thomas Kuhn (1982), é pelo experimento que se pode avançar em novas descobertas, conhecimentos, novas áreas, novas soluções, novos artefatos, expandindo os limites do conhecimento vigente ou do conhecimento sobre um artefato. Dessa forma, nas experimentações na modelagem, o indivíduo vislumbra, intui, imagina, desenha e cria pela análise, síntese e transformação de ideias, convertendo-as em possibilidades de projeto. Portanto, a modelagem é a atividade que está no centro da atividade de design em engenharia para a construção de qualquer solução que se almeje.

Considerando que um projeto abarca várias atividades, fases e dimensões e a necessidade de focalização de um momento do projeto para investigação e análise, as reflexões dos capítulos 5 e 6 enfatizarão o momento da modelagem. É nesse momento do processo de design que se encontram os estágios iniciais do desenvolvimento de qualquer produto ou solução, incluindo aí a ideação e o desenvolvimento das ideias - experimentações, dimensionamentos e ajustes -, que se dão pela modelagem e manipulação das condições nas quais o artefato técnico irá existir. É na modelagem que, efetivamente, o estudante toma decisões e realiza ações de design, que são representativas das demandas da realidade prática do projeto e da atividade fundamental da engenharia: projetar soluções. Essa é a fase onde convergem análise, síntese e desenvolvimento das ideias, configurando uma fase criativa do processo de design (ARCHER apud CROSS, 2008, p. 36) e sendo, potencialmente, um meio para proporcionar uma aprendizagem mais intuitiva e criativa em engenharia, uma vez tal

processo dispara o desenvolvimento de novos pensamentos e ações significativos (BEGHETTO, 2021).

Assim, atividades de modelagem presentes no processo projetual e de design de três soluções/objetos técnicos oriundos do Projeto BAJA UFMG formarão os casos empíricos que servem de base às questões e reflexões apresentadas nesta pesquisa. Nossa aposta é que tal experiência formativa tem potencial para estimular as capacidades envolvidas no processo de geração de soluções de aprimoramento, a criatividade e a autonomia do estudante no exercício de uma prática profissional, ainda na escola. Ademais, favorece uma real experiência de aprendizagem e de uma formação em engenharia mais intuitiva, vinculada ao desenvolvimento de habilidades e competências do engenheiro contemporâneo.

Considerando o que já foi apontado nesta introdução, como objetivo geral busca-se compreender o processo do design em engenharia, especificamente a atividade de modelagem no projeto BAJA UFMG, e como é possível a partir do desenvolvimento de um artefato técnico fomentar uma engenharia criativa, o que no longo prazo significaria potencializar a formação e o desenvolvimento de um futuro engenheiro criativo. Como desdobramento, para alcançar o objetivo geral, foram elencados os seguintes objetivos específicos:

- analisar a atividade da modelagem, seus elementos, fatores e suas singularidades, identificando que elementos essenciais esse processo incorpora, implica ou requer;
- identificar saberes e recursos mobilizados e desenvolvidos no processo da modelagem;
- identificar e analisar ações e processos que efetivamente contribuam para a construção das soluções geradas buscando relacionar categorias de análise emergentes da pesquisa de campo ao escopo da pesquisa.

Os objetivos visam refletir, captar e construir uma teorização acerca das condições em que o processo em estudo se realiza, da relação entre os fatores e elementos que o compõem e como se influenciam e se configuram, isto é, relacionando a atividade de desenvolvimento de um artefato à uma formação em engenharia mais efetiva e criativa, o que em última instância constitui e possibilita a formação e a manifestação da habilidade em modelar uma solução subsidiando competências ao futuro engenheiro quando este se deparar com situações indeterminadas no mundo real.

A perspectiva de análise desta pesquisa é de natureza qualitativa, pois busca-se compreender a ação técnica intrínseca à atividade da modelagem e, para tanto, busca-se analisar e discorrer sobre dimensões da atividade do design em engenharia, bem como sobre as percepções dos envolvidos a respeito de suas ações na experiência. Mas é, também, uma

pesquisa descritiva, pois busca caracterizar o processo e os elementos constituintes de uma atividade prática e formativa. O processo de construção de soluções pelo design e pela engenharia é vinculado ao enfrentamento dos problemas da realidade imediata de qualquer projeto e do conhecimento advindo da experiência - o conhecimento experiencial -, mas também está diretamente associado a processos cognitivos, uma vez que “a atividade de design engloba as mais altas habilidades cognitivas do ser humano, incluindo criatividade, síntese e resolução de problemas” (CROSS; CHRISTIAANS; DORST, 1996, p. 1). Construir uma solução é equivalente ou concomitante a construir um conhecimento sobre algo, é interagir e tentar lidar ou prever as condições do ambiente, dos fenômenos, dos problemas. É formar um entendimento e construir um sentido sobre e para o mundo, que serve para organizar as ações sobre a realidade experiencial do indivíduo (PIAGET apud HERR, 2019, p. 368). Assim, o exercício de se construir soluções é tanto o resultado do enfrentamento de uma realidade experiencial problemática e seu conhecimento relacionado quanto o resultado de uma atividade cognitiva e reflexiva, ou seja, a racionalidade envolvida - considerando os diversos saberes, os recursos cognitivos e a lógica que os relaciona – estes, fatores indissociáveis neste processo pois possibilitam a formação de uma habilidade pela convergência de saberes.

Porém, consideramos que todo saber advém da experiência humana na realidade concreta e do fazer, isto é, que a ação precede ao saber e, em se tratando de um estudo sobre o conhecimento de uma atividade prática, tomamos isso como um princípio epistemológico. Assim, esta pesquisa irá, fundamentalmente, analisar a atividade da modelagem no campo do design em engenharia, que foi a base da pesquisa de campo. Ressalta-se que este estudo focalizará o nível micro da atividade, que é onde se localiza o indivíduo e seu campo de ação, entendendo que todo processo se inicia na ação do indivíduo e que é lá, no decurso de desenvolvimento das soluções que configuram o “fazer”, que devemos buscar compreender seu processo de construção. Isso não desconsidera o fato de que a ação do indivíduo toma corpo num movimento crescente de aprendizagem expansiva (ENGESTRON, 1999), que incorpora as demandas e a interação com o coletivo. Ademais, o elemento mais importante nesse processo formativo é o estudante, com o qual tentamos compreender de que forma a vivência em um processo de design pode agregar algo para sua formação.

Em suma, é na perspectiva de análise da atividade baseada nas ações do indivíduo que esta pesquisa busca teorizar acerca do aprendiz de engenharia inserido em um processo de formação teórico-prático e, ao mesmo tempo, em um processo projetual, no qual se

desenvolvem habilidades e competências para perceber, explorar as possibilidades de ação, interpretar e, efetivamente, modelar a realidade com soluções ao projeto.

Como mencionado nesta introdução, a formação em engenharia se dá de forma majoritariamente tradicional, compartimentalizada e com pouca prática e oportunidades de experiências criativas. Por isso, há necessidade de incorporação de práticas pedagógicas que a tornem mais efetiva e significativa - como a abordagem da aprendizagem ativa -, permitindo que o futuro engenheiro desenvolva habilidades e competências que o tornem mais autônomo e criativo ao lidar com os desafios, incertezas e limitações dos problemas enfrentados na prática da engenharia. Nessa perspectiva, experiências formativas como o Projeto BAJA UFMG possibilitam que o estudante se desenvolva e descubra, entre as subáreas técnicas envolvidas, as que são do seu interesse. Esse contexto possibilita a individualização da experiência educativa e promove o protagonismo do estudante, tanto ao se engajar no desenvolvimento de soluções para problemas enfrentados no projeto quanto ao perceber-se protagonista na construção de suas próprias habilidades. Compreender esse processo de aprendizagem nos permite entender como, potencialmente, as habilidades são construídas e desenvolvidas ainda durante o percurso formativo na escola, permitindo aos estudantes se beneficiarem de tal experiência no sentido de melhor perceberem e conduzirem suas práticas e adquirirem habilidades que poderão ser utilizadas em sua vida profissional futura. Assim, ainda que esta pesquisa não tenha levado a cabo uma intervenção prática no processo projetual, acreditamos que ela pode contribuir para o entendimento desse processo formativo, tendo como horizonte uma melhor formação em engenharia e, conseqüentemente, uma melhor prática profissional de engenheiros.

Essas demandas de caráter pedagógico e seu conseqüente impacto futuro no mundo do trabalho, com a formação de indivíduos melhor preparados, que mobilizam saberes e habilidades para promover novos valores e desenvolvimento tecnológico e social,⁷ já justificariam a busca por melhor compreender como se dá o processo de formação e os fatores que potencializam o desenvolvimento de um engenheiro criativo ao elaborar soluções de design em engenharia. No entanto, a pesquisa apresenta também um caráter institucional, uma vez que o projeto BAJA UFMG não foi objeto de estudo da própria instituição que o mantém, o que, a

⁷ Apesar de toda a crítica contemporânea à tecnologia moderna de que não há relação direta entre desenvolvimento técnico e desenvolvimento social, associamos essas duas dimensões apenas por considerar que as tecnologias sociais também pressupõem a capacidade criativa de engenheirar.

partir da compreensão desta experiência formativa, propiciaria uma ampliação para outros campos de mediação pedagógica.

Por outro lado, teoricamente, o campo de pesquisa em Design é bastante rico e, ao mesmo tempo, bastante fragmentado (CASH; KREYE, 2017), pelo fato de a atividade de design ser complexa e estar presente, de forma intrínseca ou não, em diversas áreas da atividade humana, envolvendo processos objetivos, subjetivos, cognitivos, experienciais, sociais etc. Desde a década de 1960, o Design vem sendo extensamente pesquisado sob várias perspectivas, níveis de detalhamento, com diversas teorizações que buscam explicar e/ou prescrever processos de trabalho, aspectos e dimensões específicas, relações entre elementos, fatores envolvidos e seus impactos no resultado em diversas áreas de especialização – dentre outras, nas engenharias, na arquitetura, na psicologia, nos artefatos e sistemas computacionais, no campo organizacional, na educação, nas artes, na filosofia - e em diversas subáreas. Essas pesquisas cobrem, ainda, desde metodologias a questões da cognição, de valores éticos a filosofia da técnica etc. Entretanto, para delineamento do objeto de estudo, concentramo-nos no campo do design em engenharia e, mais especificamente, focalizamos o momento da modelagem de soluções configuradas em um artefato técnico, momento que comporta questões essenciais no campo do design e no qual buscaremos a contribuição teórica desta pesquisa, e assim, associando tal contribuição à formação em engenharia.

Para tanto, além da leitura de autores clássicos da área de design em engenharia e de projetos, como Alexander, Simon, Cross, Schön, Vinck, Boutinet, Simondon, foi realizada uma pesquisa bibliográfica em bases de dados, como *Scopus*, *Web of Science*, *Engineering Village*, Periódicos Capes, a fim de localizar teses, artigos e trabalhos de pesquisa recentes sobre as questões em aberto e que fossem consoantes ao questionamento feito nesta pesquisa. As buscas iniciais foram feitas a partir dos principais descritores relativos ao campo de pesquisa, quais sejam: *design ability*, *design strategies*, *engineering design*, *product design*, *product development*, *engineering education*, *design education*, *framing*, *design expertise*, *Computer Aided Design*, *modelling*, *design thinking*, *design theory*, *uncertainty*. Concentramos as buscas em publicações relevantes na área que focalizam o desenvolvimento e o entendimento de processos de design, como *Journal of Engineering Design*, *Design Science*, *Design Studies*, e *International Journal of Design*. Com o resultado das buscas, verificamos uma enorme produção de artigos, teses, dissertações, editoriais etc., nas mais diversas áreas. Após seleção preliminar, que teve como critério principal a escolha de trabalhos da área de design em engenharia e desenvolvimento de produtos, efetuamos leitura de resumos e, em um segundo

momento, conforme a aderência ao tema e questão da pesquisa, realizamos a leitura completa dos artigos que subsidiam a produção dos capítulos e a análise desta pesquisa.

Assim, nos deparamos com dois artigos recentes que consideram questões essenciais da atividade do design, apresentando indicativos de necessários aprofundamentos e complementações teóricas ou evidências práticas relativos aos processos de desenvolvimento de design de produtos presentes tanto no processo de aprendizagem de design em engenharia quanto no desenvolvimento de habilidades voltadas para o aprimoramento de artefatos durante a formação de engenheiros.

O artigo de Nickel; Duimering; Hurst (2022) trata da manipulação do espaço do design - o conjunto de dados do problema, bem como o conhecimento disponível da área de domínio - para resolver tradeoffs,⁸ e argumentam que, apesar das estratégias usadas pelos designers tanto profissionais quanto estudantes - como a manipulação dos critérios paramétricos que caracterizam um espaço de design definido, manipulando os limites deste espaço trabalhado, alterando-o ou, ainda, reformulando o problema de design enfrentado -, é necessário, no percurso de desenvolvimento da solução, investigar como se dá a operacionalização de tais mudanças e seus efeitos práticos na solução final. Para os autores, pouca atenção é dada à atuação do indivíduo designer em “definir, enquadrar ou alterar a estrutura do problema de design ao manipular/gerir tradeoffs”. No nosso estudo de caso, apesar de não tratarmos de tradeoffs estamos considerando que esse questionamento vale também para as incertezas e mesmo às indeterminações inerentes ao processo do design em engenharia e à aprendizagem de sua prática, uma vez que, no campo do design em engenharia, a atuação do indivíduo diante de indeterminações no espaço do design ainda é um campo a ser investigado. Nesse sentido, adicionalmente, poderíamos questionar como se dá a harmonização entre um modelo racionalista/funcionalista baseado em parâmetros e uma solução criativa final, ou seja, na prática, qual ou quais fatores ou condicionantes promoveriam a evolução de um artefato a partir de uma ideia inicial, com incertezas presentes, até se chegar a uma combinação possível de solução.

O outro trabalho é o de Cash e Kreye (2017), que apresenta um modelo teórico que busca integrar a percepção da incerteza ao processo cognitivo e mostrar seu efeito prático na atividade de design, relacionando três fatores: o processamento das informações do espaço do

⁸ *Tradeoffs* - critérios de design conflitantes (a escolha por um benefício em uma decisão acarreta uma perda em outra opção) ou contradições técnicas em um espaço de design estático e com condições já definidas e onde está em jogo uma escolha do ótimo entre opções postas ou já elaboradas, ou a escolha do menos prejudicial à performance esperada do artefato em elaboração.

design; o amparo e reflexão crítica baseados no conhecimento disponível; a construção das representações, que compreende a percepção e manipulação das informações do espaço do design trabalhado. Esses três fatores se desenvolvem por meio de ações que levam à solução, processo no qual a ação do designer é influenciada pela incerteza. Porém, esse trabalho indica que pesquisas posteriores são necessárias para buscar o entendimento de como a incerteza ou que fator afeta as ações e a progressão das ações configuradas na evolução dos artefatos/soluções trabalhados, e que, concomitantemente, pode ser associado ao processo de formação de habilidades.

Adicionalmente, vale resgatar o que nos lembra Eastman (2001) em seu artigo sobre educação e cognição em design: o desenvolvimento de uma solução de design está relacionado à construção de sua representação e, como veremos no capítulo 3, o momento da modelagem contempla o momento da construção da representação de uma solução, incorporando um conhecimento sobre um problema posto, bem como a elaboração de suas possíveis soluções. Para esse autor, aprender a construir a representação - a modelar uma solução - é uma “habilidade básica que dá suporte a um trabalho mais avançado em todos os campos do design” (EASTMAN, 2001, p. 37). Assim, em consonância com os objetivos da presente pesquisa, é no âmbito e como desdobramento desses apontamentos e questionamentos ainda em aberto que este estudo se encaixa ou busca complementar, associando a prática e os desafios do design em engenharia com o processo formativo do engenheiro.

Este texto está estruturado em 6 capítulos, iniciando nesta introdução, que apresentou a temática, a questão central da pesquisa bem como as justificativas do porquê fazer esta pesquisa. No segundo capítulo, são apresentadas as perspectivas teóricas acerca da atividade de engenharia, projetos e a relação com o design; sobre a atividade da modelagem, o experimento e a criatividade; e adicionalmente sobre aprendizagem e o desenvolvimento de habilidades envolvidas no exercício de uma prática de design em engenharia. O terceiro capítulo apresenta a perspectiva de análise quanto ao método e os recursos metodológicos e o quarto capítulo apresenta o estudo do caso, com seu histórico, atividades principais e detalhamento da pesquisa de campo com os subcasos analisados, além das narrativas baseadas em entrevistas, extratos e análises prévias. No quinto capítulo apresentamos a análise e resultados da pesquisa de campo e por fim, no sexto capítulo, é apresentada uma análise geral e as considerações finais acerca da experiência da modelagem em design em engenharia estabelecendo um construto que dê suporte à tese.

2 A ATIVIDADE DO DESIGN EM ENGENHARIA, A MODELAGEM E O FOMENTO A UMA ENGENHARIA CRIATIVA - PERSPECTIVAS TEÓRICAS

Nesta pesquisa, o objeto de estudo é fundamentalmente a atividade do design em engenharia, isto é, projetar uma ideia, em um percurso no qual os estudantes, no confronto com os problemas e desafios da realidade do projeto, vão incorporando capacidades relativas a “projetar”, com o intuito de construir soluções de aprimoramento de um artefato técnico.

Este capítulo apresenta um panorama teórico, perspectivas e reflexões acerca da prática do design em engenharia e seus processos que, por si só, envolvem outros tantos subtemas, aspectos e dimensões, como a aprendizagem e a formação em engenharia, o que torna o campo da pesquisa complexo. Assim, nas seções seguintes, daremos foco à atividade da engenharia e sua relação com projetos e design, o que, em última instância, configuram a atividade da modelagem e a geração das soluções de engenharia.

2.1 Sobre a Atividade da Engenharia, de Projetos e a Relação com o Design

A engenharia “é a arte de rearranjar materiais e forças da natureza, as leis imutáveis da natureza são sempre restritivas ao engenheiro e ao modo como aqueles rearranjos podem ou não podem ser feitos” (PETROSKI, 1996, p. 1), por isso a atividade da engenharia está fundamentalmente relacionada à atividade de projetar ideias, transformando-as em algo funcional e fabricável. Nesse sentido, as escolas de engenharia buscam ensinar “como fazer artefatos com propriedades desejadas e como desenhar” (SIMON, 1996, p. 111) e projetar soluções. Apesar de estar fundada nos princípios das ciências básicas, diferente da ciência, que se preocupa originariamente e “principalmente com o entendimento do mundo como ele é” (PETROSKI, 1996, p. 2), a engenharia, assim como outros campos de aplicação de conhecimentos, se preocupa em “como as coisas podem ser, com o design” (SIMON, 1996, xii) das coisas e como lidar com as contingências do entorno, com as possibilidades, com a criação. Isto é, se preocupa como o mundo pode ou deve ser e como deveríamos projetar ideias para produtos, serviços e processos.

Por sua vez, o design pode ser compreendido como um conjunto de atividades que visam a exploração de possibilidades frente a necessidades da realidade, transformando ou convertendo uma possibilidade à sua materialidade, transformando uma ideia em um artefato. Design é “o processo de inventar [artefatos que] acarretam uma nova ordem, organização, e forma em resposta à função” (ALEXANDER, 1964, p. 1); significa “finalidade, desígnio [...]

modalidade de composição [...] é o arranjo de seus elementos, por meio do qual ele se torna uma unidade expressiva na percepção direta” (DEWEY, 2010, p. 231). Para Cash; Kreye (2017), a atividade do design é um fenômeno complexo, elaborado pelo designer, que conecta informação, conhecimento e áreas de domínio, isto é, conecta cognição e ação para construir uma solução. O design e o processo envolvido em sua execução diz respeito ao modo como recursos, seja de que natureza forem, são adaptados ao contexto ou ambiente onde se encontram, a fim de sanarem necessidades e problemas advindos do mundo real e da relativa limitação da racionalidade dos indivíduos (SIMON, 1996, p. 113). Ou seja, sempre haverá problemas, deficiências, lacunas e/ou fenômenos a serem tratados pela prática do design.

A atividade de projetar está largamente relacionada ao desenvolvimento de artefatos e produtos diversos, processos, sistemas, construções em geral, desde máquinas a edificações arquitetônicas, isto é, está relacionada ao campo de atuação de designers de produtos, arquitetos, engenheiros em suas diversas especializações, dentre outros profissionais. Por isso, instituiu-se ao longo do tempo e disseminou-se a prática de projeto⁹ nos mais diversos campos (no corporativo, na educação, na cultura, nas ciências em geral e seus campos de aplicação etc.), como uma forma de planejamento para se alcançar algo. Nesta pesquisa, adotaremos a visão de Jean Pierre Boutinet (2002) de que um projeto é um dispositivo ou um “instrumento” - uma referência simbólica de representações - que guia os indivíduos em suas diversas atividades no estabelecimento de suas intenções e necessidades de antecipação de um tempo futuro. Portanto, carrega, no meio em que é utilizado - por meio de suas linguagens, valores e práticas específicos -, uma intenção de mudança. Um projeto pressupõe mudança, pressupõe a busca pela criação de algo novo, disruptivo ou incremental, pois não faria sentido projetar algo que já existe.

Mesmo que um projeto seja visto como um processo planejado - com começo, meio e fim -, como uma sequência de fases em um processo racional e de mera resolução de problemas - visão predominante por muito tempo em abordagens e metodologias projetuais em diversas áreas -, todo projeto está sujeito a alterações, limitações e indeterminações. Por isso, desde já adotaremos a visão de projeto proposta por Donald A. Schön (2000), segundo a qual um projeto é um percurso projetual de *reflexão em ação* e escolhas negociadas. Fundamentalmente, um projeto é um caminho de reflexões acerca de uma ideia inicial, que vai se desenvolvendo conforme as situações, em uma narrativa construída durante a prática do indivíduo e dos demais envolvidos, o problema e o contexto. Nesse processo, a experimentação se une ao saber

⁹ Para uma historiografia sociológica/antropológica de projetos, ver *Antropologia do Projeto*, de Jean Pierre Boutinet (2002).

sistematizado de forma interdependente e “onde conhecer e fazer são inseparáveis” da situação ou problema de projeto posto (SCHÖN, 2000, p 70). Nessas circunstâncias, os indivíduos, ao interagirem com as situações e com os elementos e fatores condicionantes do contexto (interferências, falhas, tradeoffs ou contradições técnicas, diferenças de interesses entre os envolvidos, cronogramas, custos, pressões externas diversas etc.), vão lidando com incertezas, hipóteses, mas também vão descobrindo possibilidades de soluções. Assim, a reflexão na ação compreende um movimento de reconhecer, apreciar e ajustar ações e decisões ao longo do percurso do projeto (SCHÖN, 2000). Não considerar um projeto como um plano certo e adotar, desde o início, a prática da reflexão na ação possibilita a revisão de projetos de forma dinâmica, seguindo o curso e a variabilidade dos eventos, pois o plano de um projeto, seu cronograma e metas prévias devem ser entendidos como uma estrutura mínima, fornecendo um suporte porém sem especificar seu andamento (KAMOCHE et al, 2001). Tal prática permite estar atento às mudanças e às possibilidades de ação e de aderência entre as condições objetivas e as lacunas, o proposto e o problema que se quer sanar.

Mas o que seria um problema projetual ou um problema de design? Certamente, é qualquer problema posto que se intencione resolver alcançando certos requerimentos e finalidades, seja em termos de função, desempenho, forma, estética, conforto, sustentabilidade, custos, tempo de execução etc. Aqui, caberiam vários questionamentos e critérios quanto à finalidade, à qualidade, a quem se destina a solução proposta e a quem cabe julgar, estética e/ou eficientemente, o resultado alcançado. Mas o ponto de partida de qualquer projeto é, obviamente, a identificação da demanda inicial e o tratamento dado a ela, isto é, o momento em que ocorre a identificação do problema, a concepção da ideia e as primeiras modelagens. Entretanto, ressalve-se que o problema e sua percepção inicial podem se alterar ao longo do percurso, em qualquer das fases do processo projetual, dando novas direções aos projetos, em ciclos iterativos.

Como em outros campos de atuação, na engenharia há problemas que, a princípio, se apresentam claramente identificados e estruturados, passíveis de serem enquadrados em campos de saberes nos quais há, de antemão, critérios, formas de representação, metas ou objetivos de desempenho, padrões e, sobretudo, princípios e leis gerais que condicionam os caminhos para solucionar um problema. Por outro lado, há tipos de problemas que fogem a esse quadro, problemas que envolvem o incerto e o desconhecido e suscitam ou disparam a busca pelo seu entendimento, bem como a geração de alternativas e novas combinações de elementos do campo de trabalho para tratá-lo e solucioná-lo. Tais problemas podem ser originais ou

simplesmente uma novidade para um indivíduo novato em um campo de atuação ou mesmo para um indivíduo que já seja um engenheiro experiente, por apresentarem-se indeterminados, por falta de informações ou limitações no modo de apreensão das situações-problema.

Segundo Herbert A. Simon (1973), a maioria dos problemas são “mal-estruturados” e só se tornam “bem estruturados” ao serem preparados para serem solucionados. Os “mal-estruturados” são aqueles em que o espaço, seus elementos e suas relações, ou seja, o campo conceitual e as condições de contorno, não são definidos de antemão com o conhecimento disponível (SIMON, 1973, p. 187). O autor dá o exemplo de um arquiteto que projeta uma casa, afirmando que ele trabalha com uma ideia básica inicial, de especificações globais, e, a partir daí, começa a derivar sua composição de variações, que começam a “adquirir uma estrutura pela decomposição de vários problemas do projeto, e por evocar, ao passo que o projeto/design progride, todo tipo de requisições para ser aplicadas e testar o projeto de seus componentes” (SIMON, 1973, p. 190). Portanto, o que era inicialmente mal-estruturado vai se tornando estruturado e organizado. Ainda assim, argumenta o autor, nesse processo de estruturar um problema, de decompô-lo e analisá-lo, alguns subproblemas ou critérios podem passar despercebidos, permanecendo latentes e levando ao risco de inconsistências e lacunas, o que, conseqüentemente, acarreta modificações durante o percurso do projeto. Assim, há limitações quando se trata um problema a partir da racionalidade instrumental - que pode ocorrer tanto no corpo de conhecimento de determinado campo quanto na bagagem de conhecimentos e experiências do indivíduo -, que pode deixar escapar a complexidade e singularidade dos problemas com seus elementos e fatores constitutivos (SKABURSKIS, 2008), pois são exatamente essas condições que permitem espaços para mudanças, melhorias e inovação.

Ao se deparar pela primeira vez com uma situação problemática complexa, o indivíduo - no nosso caso, um aprendiz de engenharia -, na maioria das vezes, não lidará com problemas que têm uma única resposta ou com problemas para os quais já exista uma solução/resposta pronta (caso em que bastaria um exercício de decomposição, análise e localização da solução). Horestein (2002 apud CROPLEY, 2017, p. 7) argumenta que, caso haja mais de uma resposta, trata-se de um problema de design, e encontrar a melhor solução envolverá criatividade, testes, melhorias, avaliação e escolhas, na maioria das vezes construídas e negociadas quando se trata de atividades coletivas, como no caso de equipes de trabalho. Em certos casos, embora o indivíduo acredite ser um problema bem-estruturado, lidará com situações indeterminadas, informações incompletas e incertezas de toda ordem. Mas, considerando as indeterminações, G. Deleuze (1968, apud DONIN; THEREAU, 2015, p. 118) lembra que “o indeterminado [...]

é uma estrutura objetiva perfeitamente positiva, já atuante na percepção a título de horizonte” para se alcançar uma solução. O problema é que “desejamos conceber formas bem adaptadas para um dado contexto mas para ser possível tais formas devem se colocar em subsistemas independentes de variáveis” (ALEXANDER, 1964, p. 73), ou seja, de toda forma, quaisquer soluções propostas a um problema indeterminado precisarão ser adaptadas no percurso da consolidação da solução àquilo que é factível e às interdependências dos elementos constitutivos do campo de trabalho.

Problemas projetuais ou problemas de design, sejam bem ou mal-estruturados, sejam localizados ou pontuais, abrangentes ou sistêmicos, podem ocorrer em diversos contextos e situações, para indivíduos com graus de maturidade e experiências diferentes, para estudantes ou experts. Resolver um problema não é o problema; para Simon (1992, apud WISNER, 2010, p. 601), o estudo da atividade humana em se construir uma solução é, antes, um “estudo empírico das condições de contorno que colocam limites sobre a abordagem para [se alcançar] o ótimo”. Ou seja, o problema de identificar o problema depende tanto da extensão e qualidade das informações disponíveis quanto das experiências anteriores e do nível de expertise dos indivíduos. Nessa fase crítica, quando se faz a leitura do problema e do contexto e se vislumbram as possibilidades de solução, ocorre a idealização de uma proposição, de sua intenção e se desenrola o processo da modelagem da ideia inicial, dando forma ao trabalho de elaboração de uma solução.

Então, da necessidade e desejo de projetar algo novo que leve à evolução dos artefatos se origina a proximidade da atividade da engenharia com a atividade e o campo do Design, que trata também da criação de soluções e desenvolvimento de diversos produtos, industrializados ou não. Todos os produtos que nos cercam no cotidiano são produtos artificiais, criados pelo homem, do design em engenharia, seja a engenharia contemporânea formalizada e profissionalizada, baseada na matemática e na física (e toda a instrumentação analítica disponível), seja aquela engenharia simples, intuitiva e do senso comum, encontrada nas atividades humanas mais básicas, como a dos artesãos em geral, que também lidam com o aprimoramento de seus artefatos e criações (PETROSKI, 1996).

Assim, ao tratarmos de um projeto, da atividade de projetar, estamos também tratando de design e da prática do design em engenharia, algo que pode ser trabalhado e desenvolvido nos indivíduos envolvidos em tal atividade. No senso comum, o design é tido como aquela disciplina que se ocupa, predominantemente, da forma e da experiência a ser oferecida ao usuário final. Entretanto, para além dos *tradeoffs* básicos de performance, simplicidade,

integração e economicidade - problemas de design típicos entre requerimentos e soluções almeçadas -, Alexander (1964, p. I) o define como “o processo de inventar objetos físicos os quais acarretam uma nova ordem, organização, e forma em resposta à função” esperada. Em termos mais amplos, o design de qualquer artefato é resultante da convergência do conhecimento com a experiência, bem como das necessidades e demandas dos indivíduos com as condições de contorno que envolvem o desenvolvimento de tal artefato. Adicionalmente, Casenote (2018, p. 48) afirma que o design suscita a interação do indivíduo com os objetos em diversas dimensões, formas e manifestações, despertando também um vínculo afetivo, emocional e volitivo nos indivíduos.

Mas o termo design também carrega o significado de projeto, no sentido de um plano para se alcançar um intento, uma vez que um projeto é a formatação e uma forma de representação ou o desenvolvimento de uma ideia/conceito ou de um desejo materializado em artefatos. Assim, consideraremos que, de certa forma, design e projeto são sinônimos e que um problema de design é um problema de projeto e vice-versa. Como nos lembra Casenote (2018, p. 48), ambos, designer e engenheiro, atentam às necessidades, embora os primeiros tendam a enfatizar mais a forma, aparência e conforto, ao passo que os últimos estão mais ligados à funcionalidade e otimização de desempenho. O designer - no nosso caso, o futuro engenheiro projetista - é aquele que, a partir de um problema e uma ideia “converte situações indeterminadas em determinadas” (DEWEY apud Schön, 2000, p. 44), convertendo necessidades, problemas e/ou situações pouco estruturadas, incertas, mal definidas em novas soluções coerentes, ou seja, em artefatos do nosso cotidiano que suprem deficiências, necessidades, lacunas e falhas. Mas, em última instância, a forma final de uma ideia, solução ou produto segue o percurso das falhas ao longo do desenvolvimento das soluções (PETROSKI, 1992).

Atualmente, há várias abordagens, perspectivas e metodologias para estruturar e conduzir projetos e processos de geração de soluções em design, como o *design thinking* e ênfase na experiência do usuário, o foco no pensamento divergente e o *brainstorming*, o método TRIZ, o modelo função-comportamento-estrutura - que estabelece uma função para a qual o artefato é feito, seu comportamento esperado e a estrutura do que é feito (GERO, 1990), etc. Nesse sentido, visando investigar o processo de criação e desenvolvimento de produtos, vários autores (CROSS, 2011; DORST, 2001; VINCK, 2013; SCHÖN, 2000; BUCCIARELLI, 1996; ZAVADIL et al, 2016) já estudaram processos de design e processos projetuais, identificando os procedimentos adotados por designers, arquitetos e engenheiros projetistas, bem como as

estratégias utilizadas, sejam elas com ênfase no que “falta”, nas falhas, nas restrições ou no que é vislumbrado, no que é desejado, imaginado para a experiência do usuário final ou na funcionalidade e efetividade da solução, dentre outras perspectivas.

Segundo Nigel Cross (2008), no design em engenharia, há modelos que simplesmente descrevem a sequência básica de atividades típicas ou fases do processo do design, como a identificação do problema e a listagem dos requerimentos para solucioná-lo, bem como as fases de concepção ou geração do conceito, o detalhamento da ideia, a avaliação e implementação. Mas há modelos com ênfase em uma abordagem mais racional, sistemática e analítica de tratamento e compreensão do problema, com foco na geração do conceito da solução e nas especificações de performance derivadas do problema do design. Nesses modelos, para cada subfase do processo do design, haveria uma estrutura básica de análise, síntese e avaliação, tendo em vista estabelecer um conjunto lógico de elementos e funções desejadas, o que leva à geração de alternativas, à síntese de soluções factíveis e a avaliação e escolha de um resultado “final” para uma solução em design (CROSS, 2008, p. 34).

A despeito de modos de enquadramento ou de modelos descritivos ou prescritivos empregados nos processos de design, Cross (2008) argumenta que, na prática dos processos de design, o designer põe em marcha o que ele chamou de modelo integrativo nos processos de design. Nesse modelo, o designer explora o espaço do design e desenvolve, concomitantemente e de forma iterativa, tanto o problema quanto a solução - a coevolução problema/solução -, criando uma ponte entre o problema inicial e os subproblemas derivados, passando pelas subsoluções elaboradas e chegando às soluções sintetizadas, construindo assim uma ponte entre problema e solução pela análise, desenvolvimento e síntese.

Entretanto, haveria uma fase criativa que se sobrepõe e/ou estaria entremeada entre a concepção e o desenvolvimento detalhado da ideia, fase de geração de novas alternativas para soluções ao problema posto (ARCHER, 1984, apud CROSS, 2008, p. 36). Acreditamos que essa fase criativa pode ocorrer em qualquer etapa de um processo de design ou mesmo em um projeto já adiantado nas fases de prototipagem, fabricação e testes de usos do artefato ou solução, pois, como é comum em projetos, podem emergir intercorrências que justifiquem uma revisão, o que leva o indivíduo a rever sua proposição de solução e, caso necessário, retornar à fase da modelagem para iterações.

A despeito das várias abordagens e metodologias para conduzir projetos, nesta pesquisa, nos restringiremos a um caso prático: o projeto BAJA UFMG, nosso estudo de caso - detalhado no Capítulo 4 -, buscando entender como ele se realiza no espaço-tempo, com suas

singularidades.

Como argumentado na introdução desta pesquisa, modelar representa uma atividade nuclear do processo projetual e de design, sendo essencial tanto na fase de idealização/formação da ideia de solução quanto na fase de desenvolvimento da ideia, quando a ideia inicial vai ganhando solidez pela adição ou subtração de elementos e fatores que compõem a própria ideia de solução. Ademais, a atividade da modelagem condensa outros momentos e dimensões de projeto em uma mesma fase. Ao modelar a ideia, o indivíduo deve, necessariamente, considerar e antecipar fatores como a fabricação, pré-testes que são feitos ainda na fase de modelagem, restrições existentes e falhas, além de conhecimento/informações de modelos anteriores semelhantes e o histórico de falhas. A seção seguinte dará ênfase a esse momento do processo: modelagem, experimento e expansão.

2.2 Sobre a Modelagem, a Experimentação e a Criatividade

A atividade de projetar algo diz respeito a desenvolver uma ideia, transformando-a em artefatos e soluções para o enfrentamento de problemas e demandas da realidade; trata-se de conceber e lançar uma ideia, estendendo seu alcance, buscando expandir usos e/ou áreas de conhecimento. Processos de desenvolvimento de artefatos e invenções dentro do mundo das técnicas, isto é, processos de materialização de uma imagem mental (a ideia) em um objeto técnico, ocorrem, segundo G. Simondon (2005), em ciclos iterativos de transformações, contemplando adaptações que visam à utilidade. Esse processo é viabilizado pela autocorrelação entre os elementos constitutivos, a fim de conferir estabilidade tanto com relação aos próprios elementos constitutivos quanto ao contexto, assim como ocorre no exercício da atividade da modelagem no design em engenharia para o desenvolvimento de novas soluções e/ou aprimoramentos em artefatos técnicos.

Para Simondon (2005), a gênese de uma ideia advém e percorre um ciclo de desenvolvimento de uma imagem mental e, a partir de uma fase sincrética, momento difuso de elementos díspares e de diferentes visões baseadas na experiência e memória dos indivíduos, inicia-se um processo no qual uma imagem mental inicial é percebida, imaginada e/ou antecipada, e se

[...] enriquece das contribuições cognitivas e integram a ressonância afetivo-emotiva da experiência, se tornando [uma representação mental] [...] a imagem é no seu nascimento um feixe de tendências motrizes, antecipação de longo termo da experiência do objeto; ao curso da interação entre o [objeto] e

o ambiente, ela se torna um sistema de acolhida dos sinais incidentes e permitem a atividade perceptivo-motora se exercer segundo um modo progressivo (SIMONDON, 2005, p. 275).

Essa progressão na materialização da ideia - sincretismo (ideias iniciais difusas); contribuições cognitivas (análise e/ou síntese); ressonância afetivo-emotiva (aquilo que afeta e é percebido como valoroso e significativo para o indivíduo) - se dá pela percepção e antecipação, pelo indivíduo, de uma correspondência, aderência ou, ainda, coerência entre os elementos envolvidos e seu ambiente (SIMONDON, 2005, p. 332). Entretanto, esse processo não é resultante de uma simples sequência dedutiva, mas sim do enfrentamento de uma “pluralidade de tensões [entre os elementos, restrições, ambiente etc.] em direção a realização de funções” (SIMONDON, 2005, p. 337) almejadas e intencionadas na ideia, contemplando a remodelagem de estruturas que compõem tal ideia. Ou seja, ocorre um processo de integração ou “equacionamento” de elementos e subconjuntos - ideias e imagens - distintos para uma unidade coerente e que não existia em etapas precedentes. Assim, o processo de concretização de uma ideia/imagem mental abstrata em um objeto concreto, artefato ou solução passa por ciclos de antecipações, iterações e se operacionaliza pela remodelagem de elementos, estruturas e funções que, em última instância, levam a uma convergência desses fatores e à transformação da ideia inicial.

No universo da engenharia e da criação de novos artefatos e aprimoramentos dos existentes, o processo é semelhante: a princípio, o engenheiro projeta soluções baseadas em uma ideia inicial e nas informações de que dispõe, bem como nos saberes científicos, hipóteses, análises, mas também baseado em experimentações, eminentemente controladas e eventualmente livres, que por vezes retroalimentam as próprias ideias iniciais, formalizando novas ideias. Como um artífice, o engenheiro “desenvolve um diálogo entre suas práticas concretas e ideias” (SENNET, 2020, p. 20), principalmente por meio da modelagem, fase de desenvolvimento e criação, na qual o indivíduo simula as condições em que o objeto projetado irá existir e funcionar. É nessa fase que o indivíduo experimenta, a partir de um problema ou situação complexa e indeterminada, possibilidades de soluções coerentes em termos tanto de forma quanto de função, nível de satisfação, efetividade etc.

Nesse contexto, a atividade de modelar é fundamental. Modelar implica diversas ações - operativas, sejam manuais e/ou cognitivas - sobre uma ideia, um conceito ou uma matéria/substância física, que configuram a base da modelagem, que constituiu-se como uma atividade de construção de uma representação, do desenvolvimento de uma ideia, de um

modelo, seja mental/virtual - aquilo que pode vir a ser -, físico - algo do mundo real, um fenômeno, um objeto ou um problema que já existe e precisa ser compreendido ou mudado - ou algo que relativamente ainda não existe e que seja desejado como objeto, com suas formas, dimensões e funcionalidades. Para o design de objetos, a modelagem ou resolução de problemas e compreensão de fenômenos permite o desenvolvimento da solução que será gerada para tal, permitindo a

[...] transição da situação de um problema, de seus requerimentos e o esclarecimento do que deve ser tratado e como deve ser tratado [...] modelos expressam um conhecimento do design [...] servindo ao desenvolvimento da forma [da solução], sua [simulação], avaliação e validação (KARA; ABDOLI, 2017, p. 1266).

Isso permite a escolha e decisão das melhores soluções entre as hipóteses verificadas no processo de desenvolvimento. Aliás, podemos considerar que as hipóteses são experiências, pois enquanto não são comprovadas ou refutadas, aceitas ou rejeitadas não passam de tentativas.

Ou seja, na atividade da modelagem, a partir de uma ideia inicial - original ou não -, percorre-se o ciclo da análise, avaliação, síntese, decisão e escolhas - objetivas ou subjetivas, individuais ou coletivas - que determinam a solução. Além do exercício da construção de uma conceitualização e de prover suporte à cognição do problema, minimizando e lidando com as incertezas e restrições, a representação gerada tem ainda papel central como veículo de comunicação do indivíduo que a modela com seu contexto e com outros indivíduos envolvidos no processo da construção da solução em desenvolvimento (CASH; MAIER, 2021, p. 2).

A noção de representação que a atividade da modelagem configura é condizente ao que Alexander (1964) argumentou como o processo de criação de uma forma, uma solução, “resolvendo um sistema de relações e interações de forças conflituosas”, inerentes a qualquer problema e processo de design, pela fusão de tais relações entre os elementos constituintes e as condições de contorno, gerando uma nova ordem e organização da forma em resposta à determinada finalidade ou função. Assim, a atividade da modelagem de um objeto técnico configura a fase de desenvolvimento de um conceito e incorpora o processo de organizar os elementos constituintes de um objeto, o que faz o objeto ser o objeto, isto é, sua representação geométrica, paramétrica ou poligonal (LORUSSO et al, 2021). A interação entre tais elementos com o seu espaço e contexto - as condições de contorno - possibilita encontrar a forma e a matéria física apropriadas para determinada solução, ainda que transitória.

Em áreas como o design de produtos, na arquitetura e mesmo na engenharia, a

modelagem envolve a elaboração da propositura de um desenho ou a modelagem física ou virtual por meio de softwares - como o *Computer Aided Design (CAD)* -, onde se constroem protótipos do objeto em desenvolvimento, priorizando as dimensões da forma, e a partir daí, o estudo dos materiais utilizados e suas funções. Mas importa distinguir que também há, em diversas outras áreas - como a Física, Química, Biologia, Estatística, Economia e mesmo em diversas áreas da engenharia -, a modelagem matemática, um artifício, metodologia ou expediente utilizado para compreender um sistema, um fenômeno ou problema, que busca representar os elementos e fatores da realidade, seus correspondentes parâmetros e variáveis, assim como a representação de suas relações, funções e condicionantes, pela linguagem e equações da matemática (COSTA; IGLIORI, 2018). Nesse tipo de modelagem, também buscase tanto descrever um problema ou fenômeno quanto tentar prever, simular efeitos e comportamentos, seja visando à resolução e/ou compreensão de problemas, fenômenos e procedimentos, seja para a construção de conceitos, objetos/artefatos, processos e sistemas.

Porém, a predominância “do uso de estruturas lógicas para representar problemas de design traz como consequência a perda de inocência” (ALEXANDER, 1964, p. 8) de um processo intuitivo, aquele baseado no conhecimento experiencial imediato. Isto é, essa escolha subjuga a intuição à racionalidade, podendo acarretar a limitação da exploração das possibilidades e da sensibilidade do indivíduo envolvido na concepção da solução. Por outro lado, o autor alerta para o fato de que muitos designers mais radicais, a despeito da importância da intuição, “fazem dela um fetiche que excluiu a possibilidade de se levantar questões racionais” (ALEXANDER, 1964, p. 9) durante do processo do design ou da modelagem. Outro problema que pode ocorrer durante a modelagem matemática é a simplificação da realidade para torná-la mais manipulável, o que acaba por restringir o espaço de possibilidades, além de acarretar erros de avaliação na viabilidade e abrangência de soluções (NICKEL et al, 2022, p. 8).

Ademais, dada a limitação da cognição humana em processar informações e mesmo com toda a racionalidade envolvida na modelagem matemática, ela também é falível e sujeita a imprecisões, pela não representação de elementos relevantes, pela não consideração de elementos desconhecidos em áreas de indeterminação - o que também pode ocorrer em um processo mais intuitivo - ou, ainda, pela inclusão de variáveis incertas, casos nos quais, como nos lembra Khun (1982) as ciências em geral - e sua epistemologia própria - costumam adotar estimativas e probabilidades em seus experimentos como estratégias de aproximação ao que é razoavelmente aceito em determinada área de domínio. Assim, pode-se assumir que mesmo a

construção da modelagem matemática trata-se de um exercício de design, pois pode envolver a manipulação de problemas iniciais não estruturados com áreas e elementos indeterminados. No caso do design em engenharia - especificamente da engenharia mecânica, caso desta pesquisa, que envolve a modelagem e o desenvolvimento de objetos técnicos (componentes, peças, mecanismos) -, a atividade da modelagem envolve a modelagem da forma e, concomitantemente, a modelagem matemática, conforme a especificidade e as necessidades de cada projeto. Um exemplo são os estudos e análise de Elementos Finitos para verificar a resistência de peças e que, em última instância, subsidiam as escolhas de formas e estruturas na construção real de um objeto/artefato técnico. Ou seja, na engenharia, geralmente, comprova-se o fato de que a forma final é resultante ou é função de elementos e subestruturas constituintes do todo e, obviamente, da relação com as condições de contorno externas.

Entretanto, a modelagem do espaço do design - os parâmetros, materiais, características gerais, elementos e relações entre esses elementos que constituem as condições de contorno - possibilita ao indivíduo a manipulação dos elementos envolvidos, bem como dos limites do espaço trabalhado - manipulando os parâmetros envolvidos ou, ainda, efetuando um reenquadramento/releitura do problema, o que permite a expansão dos limites do domínio onde se encontram os problemas e as possibilidades de solução (NICKEL et al, 2022).

De forma geral, a modelagem permite um exercício de exploração, um momento de investigação e desenvolvimento de conceitos para as soluções, suas simulações, análises, experimentação de possibilidades e antecipações, propondo, sinteticamente, uma representação ou a propositura por meio de um conceito, uma imagem, um desenho ou um protótipo, tendo em vista a resolução de um problema em uma forma “acabada”, ainda que temporariamente. É nessa atividade que o indivíduo adentra em um espaço de possibilidades e promove um “diálogo” ou “conversação reflexiva com a situação” (SCHÖN, 1998, p. 63), buscando uma coerência entre a ideia, seus elementos e o objeto em desenvolvimento. Nesse sentido, quando o indivíduo aceita ou recusa uma hipótese, dando continuidade ao processo projetual de construir uma solução pela experimentação, trata-se de uma experiência da construção de uma concepção. Para SCHÖN (1998), “cada ação é um experimento”, sendo o momento em que o indivíduo reconhece, aprecia e ajusta suas próprias ações, derivando suas escolhas da

[...] desejabilidade de suas consequências, julgadas em categorias oriundas de domínios normativos do projeto, em termos de sua conformidade ou violação das implicações estabelecidas por ações anteriores e em termos de sua apreciação de novos problemas ou potenciais que elas tenham criado (p. 59).

Essa postura abre espaço para a descoberta de novas combinações e/ou novas soluções, com a identificação e a construção de relações entre os elementos do espaço trabalhado, o que implica no acionamento de saberes diversos - aqueles já estabelecidos sistemicamente e aqueles oriundos da prática imediata com o objeto trabalhado. Portanto, é o momento em que o indivíduo põe em marcha modos de abordagem ou enquadramentos ao problema e à situação do problema, seja esse enquadramento baseado na racionalidade científica e instrumental (relacionada aos saberes disciplinares), seja baseado no conhecimento experiencial e na intuição (relacionados e engendrados na própria situação-problema). Isso torna o exercício da modelagem um exercício do embate entre razão e intuição, entre certeza e incerteza, o que está relacionado aos paradigmas já mencionados na introdução desta pesquisa e que subliminarmente embalam o processo projetual ou ao que Donald SCHÖN (1999) nomeou como o dilema entre rigor e relevância a que o indivíduo designer é exposto, isto é, estar entre o rigor do racionalismo da ciência e sua pretensão de resolver todos os problemas e a relevância da experiência vivida em um processo situacional mais intuitivo, permeado de contradições, limitações, singularidades e indeterminações e por isso possível de se tornar uma experiência mais rica em termos de uma aprendizagem significativa e do desenvolvimento de uma prática habilidosa, pois tais entraves disparam ou requerem do indivíduo a geração de respostas criativas ao problema.

A despeito dessa distinção entre abordagens - visão racionalista e funcionalista versus visão processual -, que subliminarmente influenciam as decisões dos indivíduos, consideramos que o que faz sentido ao abordar ou conduzir um projeto de design seria a adoção de uma visão integradora, que configura o *fazer técnico*, estando tanto vinculada à ação por meio dos diversos saberes e experiências quanto às mudanças e à configuração do contexto, dada pelas ações e escolhas tomadas pelos indivíduos. Como o “fazer design é a criação de uma sequência de ações que criam situações novas e melhores” (SCHAATHUN, 2022, p. 5), modelar e encontrar uma solução de design depende de uma razão prática, pois “nem o julgamento [intuição e opinião] o qual é falível, nem a ciência, no senso do conhecimento universal, é suficiente para lidar com as contingências e singularidades do mundo real” (SCHAATHUN, 2022, p. 14). Esse autor argumenta que uma abordagem experiencial e intuitiva para lidar e tratar de um problema de design também é racional, uma vez que mesmo as tentativas intuitivas de solução tomadas intempestivamente e sem uma análise prévia são posteriormente checadas e escolhidas; portanto, as soluções são sempre uma forma híbrida dos diversos saberes. Assim, inegavelmente, fazer design envolve uma racionalidade prática que transforma fatos e crenças

em ações e artefatos (SCHAATHUN, 2022); uma “racionalidade” própria do design, uma forma integradora dos saberes que é mais consoante com a prática e os desafios - restrições e indeterminações - de se modelar uma solução coerente entre os elementos envolvidos e seu contexto.

A despeito de que atualmente há várias abordagens e metodologias distintas¹⁰ e que servem a vários propósitos mas que fundamentalmente buscam conduzir processos projetuais e de design de soluções para problemas, Cross e Cross (1998), ao pesquisarem estratégias de designers experts, identificaram que há três aspectos essenciais nas estratégias ou, poder-se-ia dizer, nos modos de enquadramento a um problema: a) adotar uma visão/abordagem sistêmica da situação-problema, isto é, pensar no “todo” e na interação dos elementos constituintes desse todo; b) buscar enquadrar ou visualizar o problema de uma forma distinta, fazendo uso de pensamento divergente e analogias com outros campos de conhecimento; c) buscar modelar a solução a partir de princípios científicos básicos que estão por trás dos problemas e fenômenos estudados, para guiar a concepção, o detalhamento e estruturação do design e a construção da solução desejada. Entretanto, na prática da modelagem, esses modos de abordagem podem não ocorrer de forma exclusiva, isto é, de uma maneira ou de outra. Como se trata de um processo dinâmico e subjetivo - sujeito às idiossincrasias dos indivíduos diretamente envolvidos -, muito provavelmente eles ocorrem de forma concomitante e/ou em um movimento de vai-e-vem no espaço do design, de forma fluída nas ações do indivíduo (CROSS; CROSS, 2008, p. 42).

Assim, o percurso de desenvolvimento de uma ideia e a busca pela modelagem da solução - a exploração das possibilidades, o tratamento aos *tradeoffs* e indeterminações, os enquadramentos ao problema e ao espaço do design por meio de recursos e estratégias cognitivas diversas (memória, linguagem, análise, síntese, pensamento divergente, analogias, avaliação etc.) - possibilita o fomento à criatividade, a capacidade de gerar novas combinações e alternativas e, em última instância, o surgimento de novidades em termos de aprimoramentos ao artefato/solução. Considerando a possibilidade de que, na modelagem, seja criado algo que ainda não existe ou que, relativamente, ainda não existe, como no caso de aprimoramentos incrementais a artefatos já existentes - a despeito de limitações, percalços e falhas em tentativas, áreas desconhecidas e incertezas, interferências e incompatibilidades -, é nesse contexto, nesse processo de experimentação e reflexão que é possível desenvolver ideias e atribuir significados. Esse é o campo fértil para que, eventualmente, possam emergir novas ideias, combinações e

¹⁰ Tais como ênfases dadas aos usuários como no *design thinking* e a prototipagem, a metodologia ágil, a árvore de objetivos, a análise de funções e de performance esperadas, a análise das contradições técnicas ou os *tradeoffs* (análise TRIZ), a análise de formas, a coevolução dos espaços do problema e solução, dentre outras.

adaptações e, dessa forma, avancarem e expandirem ideias para aplicação em artefatos; do contrário, como se explicaria o nível de desenvolvimento científico e tecnológico a que chegamos na atualidade?

No exercício da modelagem, consideramos que o indivíduo atua como um manipulador dos elementos que compõem o campo de trabalho do design, seja ele um futuro engenheiro, um cientista ou um *bricoleur*.¹¹ Conforme Lévi Strauss (2008), o engenheiro projeta ou modela como o cientista que busca garantir confiabilidade nos experimentos e artefatos. Para tanto, utiliza de todo o aparato tecnológico (ferramentas e sistemas computacionais), do amparo da linguagem e da racionalidade técnico-científica para objetivar suas ideias, experimentando possibilidades de soluções tanto em termos de forma como de função. A seu turno, o *bricoleur - o faz-tudo -*, aponta Strauss, lida com a situação como a encontra, envolto em restrições de toda ordem, mas, ainda assim, promove a experimentação de alternativas para a construção de soluções dos problemas que emergem, usando a imaginação e com os recursos disponíveis; se arranja com o que tem à mão, por intermédio da experimentação (LÉVI-STRAUSS, 2008) e do imprevisto. É também no exercício do imprevisto - experimentação de possibilidades sem um plano prévio - que se desdobra ao longo da prática ou performance que, incremental e iterativamente, se desenvolve uma ideia inicial básica. Ou seja, a partir de uma estrutura mínima (KAMOCHE et al, 2001), vai se organizando e estruturando algo que anteriormente se apresentava indeterminado ou insatisfatório. Entretanto, ambos - engenheiro/cientista e *bricoleur* - enfrentam imprevistos.

Ao construir um modelo, o indivíduo busca fazer uma leitura do problema, percebendo e entendendo falhas e erros, sendo-lhe possibilitada a liberdade da imaginação, criatividade e imprevisto diante de restrições, *tradeoffs* e indeterminações. Apesar da distinção de atuações mencionadas, por meio da experimentação presente na atividade da modelagem, é possível ao engenheiro ou mesmo ao aprendiz de engenheiro atuar e conjecturar sobre a realidade do problema e as condições da situação - escassas de recursos ou não -, de forma a elaborar/modelar, inventivamente, soluções de design.

Considerando esse exercício de investigação do problema e solução, bem como as conjecturas - ato ou efeito de inferir ou deduzir algo provável com base em presunções, evidências incompletas e pressentimentos - que envolvem o desenvolvimento de uma ideia e a

¹¹ Segundo o dicionário Le Robert, *bricoleur* é aquele que faz tudo, o biscateiro que resolve pequenas tarefas/trabalhos com engenhosidade. Fonte: <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/bricoler>. Acesso em: 20/02/2019.

prática do design e da modelagem, Waddah Akili (2019) afirma que, no contexto do design em geral, há duas categorias de questões envolvidas na investigação deflagrada no processo de construção das soluções, questões estas que operam dentro de uma área ou domínio do conhecimento e têm características do pensamento convergente,¹² que busca convergir ou revelar fatos verdadeiros ou verificáveis, deduzindo, assim, soluções a partir de conhecimentos prévios e de relações analíticas e lógicas tiradas da situação-problema; e questões que transitam ou operam no domínio de conceitos não atrelados a uma área e que são características do pensamento divergente, que levam à geração de respostas alternativas para um problema, podendo ser verdadeiras ou falsas, isto é, geram-se alternativas abertas a serem postas à prova. Esses modos de pensamento ou raciocínio são dimensões operativas que estruturam e viabilizam - pelo fluxo de questionamentos, análises, inferências, deduções, analogias e sínteses - a transformação e a construção de ideias em novos conceitos de soluções, sendo que tal fluxo de questionamentos forma a “espinha dorsal de qualquer processo de design” (AKILI, 2019), levando à geração de novas possibilidades criativas nas soluções em design.

Ainda considerando a possibilidade de geração de novidades, expansão do espaço do design ou aprimoramentos em artefatos pela atividade da modelagem no design em engenharia, Hatchuel; Weil (2003, p. 20) argumentam, na teoria CK, que o design “é um processo no qual um conceito [C] gera outros conceitos ou é transformado em conhecimento [K]”. Essa teoria se assemelha àquela dos conjuntos numéricos da Matemática, segundo a qual, a partir do conjunto dos números naturais, derivam-se outras classes numéricas e suas n combinações, que constituem o conjunto dos números reais, isto é, um “conjunto expansível indefinido” (HATCHUEL; WEIL, 2003, p. 6). Os autores apontam que, pelo design, é possível modelar uma ideia nova a partir da interação e coevolução de dois espaços interdependentes: os espaços dos conceitos (C) e do conhecimento (K). A tradição na engenharia é de que a criação de soluções é orientada pelo princípio da funcionalidade, mas, para esses autores, a geração de novos artefatos e de conhecimentos é resultado do processo do design, que envolve a expansão de conhecimento e a experimentação em movimentos de “expansibilidade” e “racionalidade expansível”, que seriam capacidades de gerar novas proposições disjuntas e sem um status lógico de vinculação aos campos conceituais de C e/ou de K, o que geraria um conjunto

¹² A teorização sobre o pensamento convergente e divergente foi elaborada pelo psicólogo americano Joy Paul Guilford, na década de 1950, em seus estudos sobre a inteligência humana e a criatividade. Para ele, o pensamento convergente - habilidade que busca deduzir uma solução para um problema a partir de um conhecimento ou regra prévia - e o divergente - habilidade que busca gerar múltiplas soluções para um problema, a criatividade - são dimensões operativas que estruturam o processo intelectual.

expansível indefinido e que, ao final de um ciclo iterativo, retornaria, integrando o campo conceitual de K, como a teoria dos conjuntos na matemática (HATCHUEL; WEIL, 2003, p. 5).

A teoria CK pretende ser uma teoria geral em design relativa à criação de novos conceitos, mas não considera o papel do indivíduo, seu nível de conhecimento e experiências, nem sua idiossincrasia frente aos desafios e problemas postos e aqueles emergentes - erros, falhas, tomada de riscos - no processo de design. Mas os autores reconhecem que uma pessoa pode ver uma expansão onde ninguém vê, pois o conceito de “expansão não tem um status objetivo ou universal” (HATCHUEL; WEIL, 2003, p. 5) entre os indivíduos. Para eles, a percepção da "expansão" depende tanto de conhecimento quanto de emoções e sensibilidades, “tomadas como formas especiais de conhecimento” (HATCHUEL; WEIL, 2003, p. 7).

Vale ressaltar que a noção de gerar uma nova proposição disjunta de um status lógico prévio a campos conceituais, argumentada por Hatchuel e Weil, não é algo novo. Charles S. Peirce (1931) já havia teorizado sobre o raciocínio abduutivo em seus estudos sobre lógica, mas que também têm ressonância ou aplicação no campo do design, como um expediente ou “mecanismo” para gerar novas proposições. Segundo Peirce (1931, p. 171), o raciocínio abduutivo é o processo mental de gerar, a partir da experiência e do observado/percebido, uma nova hipótese original. Trata-se de uma forma de raciocínio diferente da dedução, que visa provar uma ideia/teoria já pronta, como na educação tradicional, e diferente também da indução, que visa demonstrar que algo é operacionalizável/teorizável a partir de problemas, conteúdos e/ou desafios da experiência. A abdução seria uma forma de raciocínio que gera uma proposição ou mesmo uma representação (como um desenho modelado, por exemplo) desvinculada de pressuposições anteriores e que “sugere que alguma coisa pode ser” (PEIRCE, 1931, p. 171). É uma inferência, o construto de um argumento original elaborado/criado a partir do real, sem a vinculação de provar ou verificar algo, desencadeando, a partir daí, o estabelecimento de relações e comparações entre ideias que podem levar a algo novo a ser provado. O argumento de Peirce abre espaço para a expansão de ideias, para a criatividade e o exercício da intuição na construção de uma conjectura, na proposição de uma possibilidade, ou seja, uma representação elaborada mentalmente. Segundo Filho et al (2015, p. 592), no processo de design, tal proposição abduitiva alcança o status de uma representação “objetiva e experimentável, mesmo que em estado prototípico”, auxiliando na expansão de uma área de domínio, de um campo de trabalho, de uma solução em design, com novas ideias criadas.

Como apontado nas teorizações mencionadas, a experiência da modelagem, pelas novas combinações e possibilidades de soluções elaboradas a partir dos elementos que constituem o

espaço do design, possibilita esse movimento de expansão. Entretanto, novas criações e combinações não surgem do nada; surgem dos elementos e fatores existentes e disponíveis no contexto com os quais os indivíduos trabalham, estimulando uma capacidade de criação, a criatividade, um tipo especial de inteligência ou capacidade sistêmica de relacionar, transformar e sintetizar elementos em uma nova configuração/solução. Assim, partilhamos da definição de Boden (1990) de que a criatividade ou a capacidade de criar algo novo seja disruptivo ou incremental, emerge de processos complexos e pode ser uma combinação de ideias familiares, de formas não familiares, envolvendo a exploração e, por vezes, a transformação de campos conceituais. Para Cross (2018, p. 13), o

[...] ato cognitivo subliminar à ideia criativa em design não é tanto tomar um salto do problema para a solução, mas mais relacionado a estruturar uma *ponte* entre o campo conceitual onde o problema se encontra e o campo conceitual onde a solução pode estar. Tal ponte criativa cria a resolução entre os desdobramentos dos requerimentos do design [desejado] com a estrutura do design emergente de um novo produto potencial.

Pode-se considerar que inovações/aprimoramentos são respostas, soluções para limitações e insatisfações com relação a algum artefato, fenômeno, situação etc. que já não satisfazem as necessidades cotidianas. Tais soluções podem estar dentro de campos conceituais definidos, sendo determinadas por enquadramentos teórico-práticos, ou podem estar também além de tais limites; daí a necessidade de, em certos casos, reenquadrar ou reelaborar o problema, tendo em vista novos caminhos para soluções.

Como mencionado, criar algo novo não é uma tarefa trivial e/ou seja resultante de um planejamento linear, mesmo porque a criatividade pode ser facilmente cerceada por sistemas organizacionais rígidos ou por um paradigma baseado em uma racionalidade técnico-científica instrumental e funcionalista, que restringe uma inovação a uma mera solução técnica, funcional. É como se fosse o resultado de um processo de solução de um problema previsível, de etapas sequenciais e de alcance de um objetivo pré-estabelecido (SCHÖN, 2000, p. 69), quando na verdade não há como prever inovações e aprimoramentos. Muitas vezes, elas surgem de forma extraordinária, ao longo dos percursos e projetos de design; podem surgir nas lacunas subjacentes às rotinas de atividades.

Segundo Dorst; Cross (2001, p. 425), as soluções ou ideias criativas, que muitos acreditam surgir de um evento ou salto criativo – e, para Cross (2018), não existe o salto e sim a ideia da *ponte* - no processo do design, podem ocorrer no meio, no início ou podem nem ocorrer; não há como prever tal ocorrência. Apesar do senso comum de que existe um dom

para criar, Cross (2011) aponta que todos somos inventivos em certa medida e a intuição criativa é mais complexa do que misteriosa e mística. A criatividade emerge de atividades e processos mentais dinâmicos, resultantes da “interação entre conteúdos semânticos de determinado domínio do conhecimento e operações mentais, conectando elementos armazenados na memória e ativados pela percepção, por meio de procedimentos cognitivos” (TSCHIMEL, 2010 apud ZAVADIL et al, 2016, p. 2), assim como Simondon (2005) já havia apontado no desenvolvimento da ideia. Para Zavadil et al (2016, p. 2), a forma de pensamento por ou em analogias é o que permite ou “estabelece relações entre diferentes ideias e informações [...] pois através da situação percebida e da ativação da memória permitiria a formação de novas conexões” e significações que seriam transpostas ou configuradas nas soluções e artefatos.

Assim, as soluções vão se desenvolvendo ao longo do percurso da modelagem, os elementos com que o indivíduo trabalha vão se adaptando ao que é factível pelas ações tomadas na própria atividade e esse processo se consubstancia e se configura pela complementaridade entre as dimensões analítica e sintética. Segundo Simondon (2005), a dimensão analítica é vinculada a uma necessidade lógica ao que já é conhecido pelo estado da técnica e da ciência; por outro lado, a dimensão sintética é vinculada “à introdução de um elemento novo [que age] sobre a maneira de ser da totalidade, mas deve se conformar sobre as novas leis da totalidade resultante” (SIMONDON, 2005, p. 322). Ou seja, a criação por síntese é uma recombinação de elementos que altera a ordem, mas, ainda assim, acoplada e compatível à necessidade. Esse processo gradual, indutivo e dedutivo se daria por um movimento operatório de transferência, de transformação da ideia; seria um prolongamento ou transposição e mudança de funções em uma ideia ou objeto, de uma coisa ou de várias coisas em outra, uma extensão onde as formas - e até mesmo a função inicial intencionada - são decorrência de tal adaptação e da sinergia gerada. Assim, a materialização da ideia vai se transformando e se adaptando, ao passo que vai ganhando a identidade do objeto material, em uma “compatibilidade sinérgica” (SIMONDON, 2005, p. 275), e a estabilidade entre seus elementos constituintes e o contexto.

Ressaltamos que a criação de novas ideias, a invenção ou a inovação - seja incremental ou disruptiva - são resultantes de processos dinâmicos, cumulativos, interacionais, afetados por fatores endógenos e exógenos, por vezes imprevisíveis, tensos, contraditórios e, outras vezes, autoajustáveis e convergentes (GARUD et al, 2017). O desenvolvimento e a “condução” desse processo e mesmo a sua percepção pelos indivíduos revelam o estado de desenvolvimento das competências e o senso de oportunidade tanto individuais quanto organizacionais, assim como se vinculam a diversas outras condições que possibilitam o próprio fenômeno da

criatividade/inação. A inovação deve ser entendida como um processo aberto, pois, dada a incompletude de soluções prévias, sempre haverá espaço para melhorias e/ou perturbações que levem o estágio das tecnologias e artefatos a outros estágios e até a outras trajetórias tecnológicas. Resultante da performance de atores - indivíduos e organizações - e de fatores situacionais interdependentes inseridos em processos iterativos, adaptativos e não lineares, a inovação é um processo social complexo, na maioria das vezes permeado de assincronias e pouco “gerenciável”, senão “ingerenciável” (GARUD et al, 2017).

Assim, a despeito desse processo complexo, que é a construção e modelagem de novas ideias e a busca por novas formas alternativas para o aprimoramento dos artefatos técnicos, a atividade da modelagem e a expansão do espaço do design possibilitado pelo seu exercício tornam a modelagem um percurso de aprendizagem e formação na área de projetos, potencializando o desenvolvimento de habilidades e de criatividade durante o processo projetual. Apesar dos percalços, restrições e indeterminações, há espaço para pensar e agir criativamente e é “a atividade de desenhar ou modelar que provê as circunstâncias nas quais o [indivíduo] se coloca na situação e se engaja na exploração de ambos problema e solução” (CROSS, 2011). Assim, é a modelagem que vai permitir esse avanço pela experimentação, o diálogo com a situação-problema, pela reflexão na ação, pelo ajuste/adaptação de elementos, funções e estruturas que, ao “final” de uma atividade, permitem a especificação do objeto ou o que ele pode se tornar, concebendo sua identidade como objeto técnico (SIMONDON, 2005, p. 66).

2.3 Sobre a Aprendizagem e a Formação em Design em Engenharia

Diversos autores têm, desde o século passado, criticado os modelos educativos baseados na didática tradicional e na mera transferência e treinamento funcional de conhecimento explícito e sistematizado, baseado eminentemente em um ensino conteudista, muitas vezes isolando a prática da teoria. Como nos lembra Donald A. SCHÖN (2000), esses modelos privilegiam a racionalidade técnica na aplicação de problemas instrumentais da prática contidos em um currículo rígido e, ao mesmo tempo, não abrindo espaço para a *reflexão na ação* (SCHÖN, 2000, p. vii) e para uma aprendizagem mais criativa.

Em contraposição a esse modo majoritariamente tradicional - apontado por diversos autores como sendo o caso da formação em engenharia -, outras abordagens educativas propõem uma aprendizagem mais ativa, construtiva, interativa, pragmática e experimental, como a pedagogia por projetos ou por resolução de problemas, uma vertente mais enfática na

aprendizagem e não no ensino. Ela é centrada no estudante, no aprender fazendo e deflagrando o ato de pensar reflexivamente (DEWEY, 1979), o que torna a aprendizagem mais significativa¹³ e efetiva, caso em que o projeto BAJA UFMG se enquadra.

A experiência de um processo de aprendizagem e formação é o produto da dinâmica da interação do indivíduo com as condições objetivas externas e do intercâmbio de estímulos, percepções e ações entre os indivíduos, com as coisas e fatos (DEWEY, 1979, p. 44). Nesta pesquisa, consideramos a aprendizagem como uma experiência interna do indivíduo, como um processo que “consiste em modificar a capacidade de realizar uma [atividade] a partir de uma interação com o ambiente” (HOUDÉ, 2011, p. 45), levando à reflexão e ajustes no curso das ações pelo aprendiz.

O uso da abordagem de projetos na área educacional não é novidade; em 1910, John Dewey já defendia a adoção de uma aprendizagem ativa baseada em projetos, que proporcionaria uma experiência educativa efetiva, de crescimento do indivíduo e, conseqüentemente, da sociedade. Um projeto educativo é um

[...] procedimento de trabalho que diz respeito ao processo de dar forma a uma ideia que está no horizonte, mas que admite modificações, está em diálogo permanente com o contexto, com as circunstâncias e com os indivíduos que, de uma maneira ou outra, vão contribuir para este processo [...] [há também uma] [...] confluência de campos disciplinares que se produzem para que um projeto se realize, e a ideia de colaboração que implica. Além das possibilidades de estabelecer conexões, gerar transformações, explorar caminhos alternativos, dialogar com outros projetos (HERNÁNDEZ, 1998, p. 22).

Consoante a essa perspectiva e derivada da teorização socioconstrutivista ou sociointeracionista de Vygotsky (2010) - que aponta que a aprendizagem e o desenvolvimento emergem da relação sujeito e objeto do conhecimento, mediados pela interação entre os indivíduos, por artefatos culturais, como as linguagens, as tecnologias etc. -, Engeström (1999) nos apresenta o conceito de aprendizagem expansiva, aquela que vincula a aprendizagem à atividade, numa dimensão socialmente mais ampla, situacional e dinâmica, construída coletivamente por um sistema de atividades significativas, como em organizações de trabalho.

¹³ Por aprendizagem significativa, ver David P. Ausubel (1968, p. 38). Para o autor, tal aprendizagem é resultante de um processo no qual a informação, um novo significado ou conhecimento são relacionados e associados de forma não arbitrária e substantiva (materialidade) para o que o indivíduo já reconhece em sua estrutura cognitiva e de significados, com novas ideias sendo ancoradas e aceitas (subsumidas, como algo que faz parte de um todo) e/ou ajustadas em uma base e repertório de significados já existentes. O termo também é comumente compreendido como sendo aquela aprendizagem portadora de valor e sentido atribuído pelo indivíduo.

Nesse sentido, ações iniciam no nível do indivíduo, mas, no decurso do desenvolvimento de ideias, ganham a dimensão de um trabalho coletivo e passam a ser parte de um repertório de saberes baseado na prática situacional (BROWN; DUGUID, 1991). Nessa perspectiva, a aprendizagem é inseparável do trabalho coletivo e, fundamentalmente, novas práticas viram conhecimento coletivo, podendo se configurar em conhecimento tácito incorporado pelos indivíduos que viveram a experiência de um projeto, construindo uma solução ou um artefato técnico, por exemplo.

Segundo Lave; Wenger (1991), a aprendizagem é uma experiência individual, que se dá em um movimento de fora para dentro de um determinado grupo de indivíduos vinculados a uma atividade de trabalho, inserido em processos situacionais de formação de identidade profissional e pertencimento a uma comunidade. A aprendizagem é vista como uma construção social e o conhecimento é focalizado onde ele ganha significado - na execução da própria atividade em questão -, ao passo que a aprendizagem é construída com os recursos disponíveis. Nesta perspectiva, argumenta-se que a aprendizagem envolve o tornar-se um membro de uma comunidade envolvida em uma atividade e em uma narrativa construída coletivamente, em uma comunidade de práticas, na qual se aprende uma visão de mundo, uma linguagem, num processo de “enculturação” (BROWN; COLLINS; DUGUID, 1989 apud BROWN; DUGUID, 1991, p. 48). Nesse processo, o indivíduo incorpora não somente o conhecimento explícito e sistematizado, mas também o tácito, aquele adquirido com a experiência vivida, bem como aquele que é compartilhado pelos mais experientes e os mestres.

Essa visão de formação é também consoante ao que Vinck (2013) revelou ao abordar o universo da engenharia e as atividades relativas a projetos de diversos artefatos. Segundo o autor, como há um ambiente de projeto, haveria também uma cultura de projeto,¹⁴ configurada por diversos elementos implícitos e estruturantes das práticas de projetistas, vinculadas aos valores, aos objetos utilizados e gerados, gestos e linguagem. Práticas utilizadas que configuram uma forma particular de pensar e atuar na engenharia, revelando "hábitos e modos de raciocínio incorporados pelos indivíduos" (VINCK, 2013, p. 146).

Para a formação de uma visão de mundo no futuro engenheiro, Bucciarelli (2003) aponta que, no universo da engenharia, há uma linguagem própria - conceitos e princípios disciplinares

¹⁴ Para aprofundar no entendimento de projetos como uma forma e resultado de um processo cultural e como um dispositivo - referência simbólica de representações - pelo qual o homem, em suas atividades diversas, expressa - por meio de linguagens, valores e práticas - a necessidade e a intenção de antecipação do futuro, ver *Antropologia do Projeto*, de Jean Pierre Boutinet (2002). O autor traça um estudo antropológico de como se deu a configuração, disseminação e valorização de tal dispositivo presente na nossa contemporaneidade tecnológica.

-, aliada a uma racionalidade instrumental muitas vezes reducionista, que forma uma “heurística e derivações de relações entre variáveis e parâmetros os quais descrevem o modo que os artefatos e sistemas irão esperançosamente funcionar” (p. 5). Mas o autor nos lembra que essa racionalidade pode falhar em “reconhecer que o projetar é um processo social de negociação, de iteração, de retificação de erros e más-concepções, um processo rico em ambiguidade e incertezas” (BUCCIARELLI, 2003, p. 7).

Ademais, a formação por meio de projetos práticos “não diz respeito somente ao desenvolvimento de conhecimento mas também sobre desenvolver modos de pensar e atuar” (CROSS, 2011, p. 33) em um contexto projetual, o que, ao longo do tempo de amadurecimento do indivíduo em termos de vivência em projetar - mesmo após a formação escolar - e à medida que conhecimento e experiência se consolidam, habilidades envolvidas se tornam mais fluidas e inconscientes, levando ao desenvolvimento de expertise.

Entretanto, considerando a aprendizagem e a formação em projetos, SCHÖN (2000) argumenta que não há como ensinar um projeto, sendo um paradoxo falar em aula de projeto, uma vez que cada projeto é singular. Um projeto pode, muitas vezes, implicar em áreas, elementos e fatores desconhecidos, que o estudante irá aprender ao longo do percurso de desenvolvimento de tal empreitada, não sabendo como o concluirá. Um projeto é uma tentativa de antecipação de algo que ainda não existe – e, sim, deve-se “viver” um projeto em suas diversas dimensões, como o trabalho colaborativo, singularidades e problemas que suscita, interesses e disposições individuais, conflitos, estabelecimento de objetivos, negociações necessárias, cronogramas, restrições financeiras e demais pressões externas de toda ordem.

Uma aprendizagem ativa baseada em projetos ainda possibilitaria a descoberta pelo aprendiz quando ele se depara com os problemas postos ou que emergem dos projetos e que irão suscitar a busca, a investigação de tópicos de disciplinas até então desconhecidos. A perspectiva de uma aprendizagem por descoberta é aquela na qual, a partir de problemas e questões enfrentadas, o estudante elabora suas próprias representações simbólicas, que se configurariam em um conjunto de proposições lógico-simbólicas da realidade, a partir de explorações, da ação e em resposta à experiência vivida, num processo em que conteúdos a serem explorados e ainda desconhecidos passam a ser novidade e conhecidos pelo indivíduo (BRUNER, 1969). Assim, no percurso investigativo e por meio da curiosidade e da atividade exploratória que um projeto desperta, uma situação e/ou problema prático se tornariam uma representação mental proveniente de uma ação deliberada e autônoma, de uma descoberta “através de esforços cognitivos próprios do aprendiz, pois ele é assim relacionado e usado em

referência ao que se sabia antes” (BRUNER, 1996, p. xii), ainda que não seja uma descoberta para a humanidade e sim para o indivíduo. Para o autor, descobertas não significam, necessariamente, “...o encontro de coisas novas, mas, preferencialmente, todas as formas de busca de conhecimento autodirigido...” (BRUNER apud NETO et al, 2014, p. 28), ou seja, pelo próprio estudante. Nesse processo, a curiosidade e a vontade de aprender algo novo se torna fundamental para a construção de saberes, pois seu exercício convoca “a imaginação, a intuição, as emoções, a capacidade de conjecturar, de comparar, na busca da perfilação do objeto” (FREIRE, 1996, p. 88), levando o estudante a questionar, analisar hipóteses, atuar, conhecer, reelaborar e reconstruir, formular e interpretar até chegar a uma explicação e à sua própria descoberta pelo ato de pesquisar (DEMO, 2007).

Ademais, devemos lembrar e considerar que a aprendizagem é resultante do próprio engajamento nas atividades, bem como devemos ter em mente que a formação é um processo continuado, que não termina ao fim da graduação ou da participação em um projeto, ou seja, a formação é processo contínuo que se prolonga à futura atuação profissional. Essas teorizações e perspectivas são verificadas em qualquer atividade de trabalho e de aprendizagem, em organizações, grupos de trabalho com indivíduos veteranos e novatos e em projetos de qualquer natureza e porte e, naturalmente, se aproximam da experiência proporcionada pelo projeto BAJA UFMG e sua atividade projetual.

Considerando os desafios, a reflexão e a condução que um processo projetual implica, deflagra ou requer, parece ser necessário um conjunto de capacidades ou inteligências. Assim como Gardner (2000) classificou inteligências, como capacidades de *leitura* e interação em diversos campos e/ou dimensões da atividade humana (linguística, lógico-matemática, espacial, musical, corporal-cinestésica, pessoal), Cross (2011) estudou como os designers pensam e trabalham, concluindo que existe uma forma de inteligência, uma *design ability* - pensar e atuar - que permeia e se desenvolve em processos projetuais. Consoante à reflexão na ação de Schön (2000), o autor aponta que projetos envolvem reflexão interativa com representações de problemas e soluções, exercício que envolve habilidade em mudar de representações concretas para abstratas e entre o fazer e o pensar. Como em qualquer meio, a aprendizagem em um contexto de projeto é um processo interativo, social, evolutivo e, certamente, incorpora certas capacidades relativas à atividade de projetar; no percurso de reflexão, dá-se o desenvolvimento de conhecimentos, habilidades e atitudes. Nesse sentido, os elementos, juntamente e de acordo com as situações projetuais enfrentadas, configurarão a formação e o desenvolvimento de habilidades e competências.

Consideramos que a habilidade de se fazer algo seja a capacidade ou aptidão de um indivíduo para realizar atividades de um ofício de forma satisfatória, eficiente, com qualidade, com a intenção de fazer as coisas de forma bem feita. Portanto, quando o indivíduo “que faz” (SENNET, 2000) se empenha, se envolve afetiva e compromissadamente em realizar da melhor maneira possível os artefatos de que necessita, ele imprime seus valores na atividade e nos artefatos que produz.

O termo habilidade é comumente associado à dimensão operacional e à habilidade manual e, por isso, consideramos que a habilidade pode ser desenvolvida, “treinada”. Aliás, é importante destacar que, muitas vezes, treinamento carrega um significado negativo, por reduzir e subjugar o trabalho humano e sua criatividade a condicionantes do capitalismo, mas ele é também uma forma de buscar aperfeiçoamento e alcançar maestria em um ofício. Toda habilidade, manual ou não - a ideia de habilidade não deve ser reduzida exclusivamente à habilidade manual -, está sempre associada a alguma prática e “quanto mais alguém treina e pratica no desenvolvimento de uma habilidade, mais desenvolverá uma mentalidade prática, centrando-se no possível e no particular” (SENNET, 2020, p. 58). Na ação do indivíduo hábil, isso revela tanto uma leitura do contexto e o diálogo com ele quanto uma tomada de consciência da própria ação, pois o *savoir faire* é

[...] compreender em ação uma dada situação em grau suficiente para atingir os fins propostos, e compreender é conseguir dominar, em pensamento, as mesmas situações até poder resolver os problemas por elas levantado, em relação ao porquê e ao como as ligações constatadas, e por outro lado, utilizadas em ação (PIAGET, 1978, p. 176).

Tal ação consciente levaria o indivíduo tanto a atentar para "padrões objetivos de excelência" (SENNET, 2020, p. 19) quanto a buscar por mudanças e melhorias no decurso de seu desenvolvimento, "transformando esquemas de ações em noções e em operações" (PIAGET, 1978, p. 10) que configuram a prática habilidosa. Assim, quaisquer que sejam, habilidades são componentes implícitos e intrinsecamente associadas ao termo competência.

O termo competência é polissêmico e comporta diferentes interpretações e dimensões, como a circunscrita em uma área de domínio e no campo de ação do indivíduo e também aquela configurada no espectro do social, na situação-problema na qual o indivíduo se encontra e na interação com outros atores e fatores. Existem tanto competências vinculadas a habilidades

específicas e a *soft skills*,¹⁵ a desempenho, resultados e processos quanto aquelas vinculadas às competências organizacionais; dado o nosso estudo de caso, consideraremos o âmbito do indivíduo e seu contexto de ação. Para Zarifian (1995), a competência é resultante de um processo interno de rearticulação de saberes, com vistas a dar uma resposta pertinente, eficaz e eficiente a um acontecimento - o imprevisto - ou uma perturbação nos processos de trabalho. Para esse autor, competência é “entendimento prático de situações que se apoia em conhecimentos adquiridos e os transforma na medida em que aumenta a diversidade das situações” (ZARIFIAN, 2012, p. 72). Em outras palavras, a competência se constrói na experiência e se revela na própria ação, com a mobilização da bagagem de conhecimentos - teóricos, práticos, técnicos e não técnicos - e experiências do indivíduo em interação com o contexto, revelando ainda uma disposição do indivíduo para a oportunidade de ação.

Expandindo a noção de competência para um conjunto de saberes inter-relacionados, bem como a transferibilidade do conhecimento de uma área de domínio para outra - por analogia ou pelo entendimento da situação e sua adequação ao que se objetiva, isto é, pela reflexão na ação, de forma coerente às especificidades das situações -, chegamos à noção de *competências transversais* (REY, 2002). Esse é um construto conceitual e intencional que encerra um conjunto de conhecimentos, habilidades e atitudes configurados no fazer prático e na intervenção ponderada, capacitando o indivíduo a agir, se adaptar, compreender e intervir no mundo, fazendo uma gestão do conhecimento de forma reflexiva frente às situações diversas e adversas ou mesmo em campos de atuação diferentes.

Competências e habilidades se revelam nas ações do indivíduo e se configuram na situação experienciada, mas podem ser também promovidas e desenvolvidas, conforme defendem Dreyfus; Dreyfus (2012) em seus estudos sobre o processo de aquisição de habilidades por meio de instrução e experiência. Os autores alertam que esse processo não é regular e linear para indivíduos, no qual passar-se-ia de um estágio de *novato* a *expert*,¹⁶ mas sim dinâmico, sujeito a fatores subjetivos comportamentais e também a fatores externos objetivos, materiais e situacionais. No caso desta pesquisa, os indivíduos são estudantes de engenharia considerados novatos e/ou iniciantes avançados. Segundo os autores, os *novatos*

¹⁵ Termo contemporâneo utilizado em diversas áreas, como a administração de recursos humanos e a psicologia, para designar um conjunto de habilidades não técnicas (capacidade de empatia e relacionamento interpessoal, trabalho em equipe, criatividade, comunicação eficaz e capacidade de negociação são exemplos) ligadas ao espectro comportamental do ser humano em situações diversas, como em atividades de trabalho que envolvam a capacidade, o desenvolvimento e a interação positiva com outros indivíduos e o ambiente.

¹⁶ Segundo os autores, as fases da aquisição de habilidades são: novato, iniciante avançado, proficiente, competente e expert; posteriormente, acrescentaram mestre e visionário.

aprendem a “reconhecer vários fatos e elementos objetivos que são relevantes à habilidade e [adquirem] regras para determinar ações” (p. 7) em problemas por vezes descontextualizados, não havendo grande envolvimento e compromisso com o impacto de resultados, sendo as decisões e escolhas feitas com base nas regras aprendidas de forma analítica. A seu turno, o *iniciante avançado* passa a identificar elementos e situações particulares, tanto descontextualizadas quanto situacionais - por vezes reais, significativas e indeterminadas -, mas ainda utiliza um arcabouço analítico para definir suas ações. Com mais experiência, torna-se *competente* e passa a adotar procedimentos hierárquicos e um plano analítico vinculado ao resultado comprometido, o que, progressivamente, assim como o iniciante avançado, requer o resgate de saberes e experiências prévias para solucionar problemas e enfrentar mudanças ao longo das atividades desenvolvidas. Em perspectiva, esses estágios levariam aos estágios da proficiência e da expertise, quando então o indivíduo alcançaria a maestria em um ofício, sendo apto a refletir sobre as próprias intuições, de modo a ter uma compreensão situacional das experiências, “discriminação e associação holísticas”, o que o permitiria agir de forma intuitiva, fluida, natural e sem esforço, com habilidade e desempenho superiores (DREYFUS; DREYFUS, 2012, p. 16).

Em todo caso, o processo de formação de habilidades depende da temporalidade da experiência e, no caso em estudo, como a experiência da aprendizagem é uma experiência do indivíduo, a formação depende da experiência vivida - do engajamento do estudante nas atividades do projeto. Muito provavelmente, o estudante não alcançará o nível da expertise em projetar componentes de um veículo, por exemplo, mas é o início do processo de desenvolvimento de uma habilidade. Ressaltamos que não é intuito desta pesquisa mensurar as habilidades e competências, mesmo porque “não é possível estabelecer competências universais no campo [projetual] [...] mas apenas competências que são desenvolvidas de acordo com certas necessidades por atividades [...] e em contextos diversos” (HOVARTH, 2006 apud CASENOTE, 2018, p. 100).

Assim, dada a natureza experiencial, isto é, situacional e processual que envolve tanto habilidades quanto competências, Schwartz (1998) nos alerta para uma questão empiricamente problemática e insolúvel relativa à avaliação de competências: a competência se revela sob uma pluralidade de “*ingredientes heterogêneos*”, vinculados às situações de trabalho, como o grau de apropriação e conformidade vinculado a um protocolo experimental na situação de trabalho; uma dimensão histórica que permite ao indivíduo tomar decisões; uma capacidade de adaptação que promova ajustes na atividade de trabalho; a dimensão dos valores envolvidos e que dão

base a qualquer atividade humana; a própria interação entre esses ingredientes. Ou seja, a competência é uma síntese desses ingredientes, que não se apresentam de forma homogênea para e/ou nos indivíduos e nas atividades.

Entretanto, a despeito de as competências serem resultantes do enfrentamento de situações-problema, de ações tomadas e saberes diversos, nesta pesquisa, consideramos que é possível desenvolver habilidades e competências - em termos de formas de atuar e pensar, isto é, nas dimensões prática e cognitiva, uma vez que elas se entrelaçam; o operacional é desdobramento do cognitivo e vice versa - vinculadas a uma experiência formativa em design em engenharia que possibilitem o surgimento de respostas ou soluções a demandas práticas do projeto. A vivência no projeto proporciona o espaço e o tempo das situações e experimentações em processos de trabalho desafiadores, relacionais, construtivistas, problemáticos e, portanto, multidimensionais. Nesse contexto, são acionados saberes diversos, elementos e fatores favoráveis ao uso de estratégias, tentativas, erros e ajustes, a reflexão na ação. Essas circunstâncias são a base para o desenvolvimento, não final, mas inicial de um saber prático que formará o repertório de experiências do indivíduo, para uso futuro em outras situações, proporcionando e potencializando o desenvolvimento de habilidades e competências individuais no longo prazo.

O intuito deste capítulo foi apresentar e buscar refletir sobre os principais pontos que dão sustentação à temática do fenômeno em estudo e, obviamente, não pretendemos esgotar a reflexão dos autores citados. Porém, no capítulo de análise da pesquisa de campo, retornaremos a esses autores, buscando dialogar e localizar a tese desta pesquisa no universo teórico.

3 MÉTODO

Neste capítulo, descreveremos como foi o percurso investigativo, detalhando como foi o método e os procedimentos metodológicos adotados que orientaram e conduziram esta pesquisa. O primeiro contato com a equipe foi em março de 2019, quando iniciamos a pesquisa de campo, com uma incursão exploratória nas atividades do projeto para realizar o acompanhamento e as observações iniciais. Visando a subsidiar a construção da teorização desta pesquisa, acompanhamos reuniões, atividades diversas de oficina (como fabricação e montagens), testes com o protótipo, treinamentos para novatos e realizamos entrevistas livres com estudantes.

Inicialmente, foram feitas 12 (doze) entrevistas, sendo 3 (três) com estudantes do subsistema técnico Suspensão e Direção (SUSPDIR), 3 (três) com um estudante do subsistema Eletrônica, 3 (três) com os membros do subsistema *Powertrain*, 2 (duas) com os membros do Núcleo Administrativo (NA) e 1 (uma) com o professor orientador da equipe. Entretanto, ao longo do ano de 2019, por uma necessidade de melhor recorte do objeto de pesquisa, foram selecionados 3 (três) projetos de desenvolvimento de soluções específicos para a realização de entrevistas com os estudantes diretamente envolvidos neles. Por serem projetos técnicos significativos em termos de mudanças na configuração e aprimoramento do protótipo, os casos desses 3 (três) projetos serão relatados e detalhados no capítulo 4.

As entrevistas focalizaram, então, a atividade da modelagem e a construção de soluções técnicas realizadas no nível do estudante, ou seja, o foco foi a ação do estudante ao modelar e desenvolver soluções para o protótipo. Ressaltamos que dois dias após o retorno da competição nacional, em março de 2020, a UFMG suspendeu as atividades presenciais devido à pandemia de COVID-19. Com o regime de isolamento social adotado por causa da pandemia, o acompanhamento das atividades da pesquisa de campo ficou prejudicado, pois houve um período de relativa inatividade da equipe por cerca de 24 meses. Naquele período, foram feitas entrevistas online com os estudantes para esclarecimentos de ambiguidades, aprofundamento do entendimento de significados incorporados em suas ações nas modelagens elaboradas, bem como para uma melhor descrição e compreensão da experiência e suas justificativas.

Durante a quarentena, vários membros deixaram a equipe, ou por já estarem na equipe mais de uma temporada ou porque não havia previsão de cronograma de competições. As atividades só foram retomadas, mesmo assim de forma online, em 21 de setembro de 2020, quando foi divulgado o calendário da competição regional, que seria realizada virtualmente, em novembro, com apresentação dos projetos via vídeos e colocação de desafios técnicos às

equipes. Nesse período, não houve início de novos projetos de aprimoramento nos subsistemas técnicos, exceto o projeto do *Steering Link* Pneumático, feito remotamente pelo estudante, em sua casa, e que será um dos casos relatados. As atividades presenciais somente retornaram em abril de 2022, com a equipe já desfalcada, uma vez que vários integrantes haviam saído dos subsistemas.

3.1 O Método - Perspectiva Geral

Como método, no sentido amplo de uma perspectiva e de uma orientação na busca pela compreensão do objeto de pesquisa, adotamos uma abordagem construtivista de cunho relativista, ou seja, aquela perspectiva que busca evidenciar o papel das ações, dos “valores e da interação [...] na configuração dos ‘fatos’ e a subdeterminação da teoria” (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 2002, p. 142). Tal abordagem busca evidenciar as práticas e o contexto no qual o fenômeno em estudo ocorre – neste caso, um processo formativo de design em engenharia por meio de atividades práticas projetuais -, bem como a experiência vivida e a percepção dos indivíduos envolvidos no processo, para, só então, derivar uma teorização.

Em consonância com essa perspectiva e dada a natureza dinâmica do fenômeno e contexto em estudo, fizemos uso da Teoria Fundamentada - *Grounded Theory* (GT) - como percurso de construção da tese, isto é, de forma indutiva, a partir da experiência, o que possibilitou à teorização gerada uma melhor “ancoragem” (TAROZZI, 2011, p. 20), em conexão e fundamentada com os dados da realidade do fenômeno. Nessa abordagem, a base é a exploração de um processo ou atividade - subprocessos, dinâmicas e ações que subjazem ao fenômeno em estudo -, bem como da interação entre as pessoas do contexto e suas intencionalidades (TAROZZI, 2011, p. 22). No caso desta pesquisa, o processo envolveu a prática do design em engenharia - elaboração de soluções de aprimoramento de um artefato -, envolto em um processo de aprendizagem e formação. Assim, a partir de observações livres, das entrevistas semiestruturadas e das narrativas de desenvolvimento dos artefatos modelados, procedemos a análise. Partimos do “plano descritivo para percorrer níveis de abstração conceitual sempre crescentes” (TAROZZI, 2011, p. 23), estabelecendo categorias de análise, construindo conceitos e relações, em busca da configuração de uma teoria explicativa, num movimento indutivo da base empírica para a abstração teórica. É importante ressaltar o imperioso exercício da reflexão analítica, um movimento de avanços, recuos e revisões sobre o processo da investigação, contemplando a codificação de unidades de significação relevantes,

reformulação da pergunta de pesquisa, definição de conceitos, propriedades, atribuições e conexões das categorias e a delimitação da teoria, bem como retornos ao campo (TAROZZI, 2011, p. 24), se necessário.

Considerando as características e os objetivos da pesquisa - compreender o processo dinâmico de uma atividade de design em engenharia, com foco nas ações do indivíduo envolvido no processo -, a perspectiva de análise é de natureza eminentemente qualitativa e descritiva. Qualitativa porque buscamos compreender, analisar e discorrer sobre a dinâmica das ações, percepções e interações dos envolvidos na experiência, que são depositárias de crenças, valores, atitudes e hábitos. Dito de outro modo, a pesquisa buscou analisar e teorizar sobre dimensões e aspectos acerca das ações do estudante em uma experiência projetual para o desenvolvimento de soluções para um artefato técnico. Descritiva porque busca caracterizar o fenômeno em seus elementos, fatores constituintes e suas relações. Assim, a perspectiva de análise será aquela centrada na compreensão da ação técnica, no indivíduo e em suas ações no exercício da atividade da modelagem.

3.2 Procedimentos Metodológicos Utilizados

3.2.1 Sobre o estudo de caso

Um estudo de caso é indicado quando se propõe uma pesquisa cuja questão é do tipo “como” e que recaia sobre um fenômeno do qual o pesquisador tem pouco ou nenhum controle (YIN, 2005, p. 28). Em outras palavras, trata-se da investigação empírica de um fenômeno examinado em seu contexto e dinâmica particulares. Em geral, o estudo de caso busca compreender “uma situação tecnicamente única em que haverá muito mais variáveis de interesse...[e]...baseia-se em várias fontes de evidências” (YIN, 2005, p. 33). O projeto BAJA UFMG é o caso em estudo nesta pesquisa, que iniciou como um estudo de caso mais amplo, mas tornou-se mais específico ao longo do primeiro ano de acompanhamento, com foco nas atividades de modelagem. Esse recorte foi feito porque essas atividades apresentam a confluência de elementos, fatores, circunstâncias e condições significativas e singulares, pertinentes à questão central, aos objetivos da pesquisa, bem como às reflexões para construção desta tese.

Para tanto, a pesquisa de campo buscou dados empíricos em fonte primária, ou seja, os dados analisados foram coletados diretamente nas entrevistas, bem como no acesso aos desenhos elaborados pelos estudantes em suas atividades. A ênfase foi, então, sobre o momento

da prática da modelagem, ou seja, o momento do design em engenharia e do desenvolvimento das ideias de soluções de aprimoramento para o protótipo. Adicionalmente, buscamos amparo em observações diretas e em documentos (regulamento da competição, estatuto da equipe, relatórios técnicos e desenhos).

No trabalho de campo, o investigador, por um lado, entra no “mundo do sujeito [e] por outro, continua a estar do lado de fora. Registra de forma não intrusiva o que vai acontecendo e recolhe, simultaneamente, outros dados descritivos” (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 113). Em geral, as observações de campo consistem então na

[...] descrição das pessoas, objetos, lugares, acontecimentos, atividades e conversas. Em adição [...], o investigador registrará ideias, estratégias, reflexões e palpites, bem como os padrões que emergem...[ou seja] ...o relato escrito daquilo que o investigador ouve, vê, experiência e pensa no decurso da recolha e refletindo sobre os dados de um estudo qualitativo (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 150).

Mais do que descrições detalhadas de ações, eventos, contextos, comportamentos e intenções dos indivíduos, o pesquisador deve produzir conceituações sobre os dados coletados e os processos acompanhados; não deve ser um “receptor passivo de dados objetivos [...]mas seleciona o olhar para pousá-lo em episódios e cenas relevantes, ligados à preocupação principal [...] para intuir as categorias centrais da teoria emergente” (TAROZZI, 2011, p. 111).

As observações das diversas atividades (reuniões, momentos informais na oficina com preparativos, momentos de fabricação, modelagens e ajustes, testes e manutenção no protótipo, reunião de avaliação e competição nacional de 2020) foram não estruturadas, sem um roteiro prévio. Foram observações livres, com vistas a captar as ações e interação dos envolvidos, bem como os elementos de análise significativos nas ações e atividades; em seguida, foram registradas em notas de campo para subsidiar a construção da tese. Esse acompanhamento inicial ocorreu entre abril de 2019 e março de 2020, cobrindo um momento de reavaliação da competição nacional de 2019 e o período preparatório para a competição regional, ocorrida em agosto de 2019, bem como para a competição nacional, ocorrida em março de 2020.

Adicionalmente, foi feita uma consulta documental nos Relatórios Técnicos do Protótipo, pois representam uma comunicação técnica das soluções elaboradas e trazem informações consolidadas e resumidas sobre as atividades desenvolvidas sendo relevantes para a compreensão dos casos relatados nesta pesquisa.

Ressaltamos que, devido ao caráter competitivo dos projetos no contexto da competição nacional, foi assegurada, por meio de termo assinado, a confidencialidade de informações

relativas ao detalhamento dos projetos técnicos acessados, ficando a publicação de qualquer informação - desenho, esboço, especificações - sujeita à anuência da equipe. Também foi consultado o Regulamento da Competição, pois o projeto está sujeito a regras externas, restrições e condições construtivas que têm impacto nas possibilidades de desenvolvimento do protótipo.

3.2.2 Entrevistas e a construção das narrativas

O instrumento fundamental de coleta de dados utilizado nesta pesquisa consistiu em entrevistas com os indivíduos diretamente envolvidos nas atividades, bem como o acesso aos desenhos modelados por meio de programas de design computacional, os quais foram tema das entrevistas, quando os envolvidos reconstruíram o histórico de seus desenvolvimentos. Segundo Charmaz (2009, p. 46), entrevistas devem ter o caráter de uma conversa e contemplar, inicialmente, perguntas amplas e abertas, variando de “uma exploração vagamente orientada dos tópicos a questões focais semiestruturadas”, de forma a estimular a reflexão e a exposição de fatos, em um exercício de exploração do percurso de ações realizadas e da experiência vivida. Nessa direção, buscamos explorar as atividades desenvolvidas em profundidade, captando as ações e suas interações, as intenções, os valores envolvidos, a percepção e o significado da experiência e das ações realizadas na modelagem e construção das soluções em design.

As entrevistas foram do tipo semiestruturadas e partiram de questionamentos básicos - o quê, como e porquê - acerca das atividades realizadas, circunscritas especificamente à situação projetual da modelagem. Buscamos verificar a ocorrência de elementos, fatores e unidades de significação relevantes para o entendimento do fenômeno em estudo, revelados pelos entrevistados. As primeiras entrevistas ocorreram entre julho e dezembro de 2019 e, posteriormente, devido ao isolamento da COVID-19, foram realizadas online.

O objetivo das entrevistas foi reconstruir com os estudantes o histórico da experiência da prática projetual em se modelar algo novo para o protótipo, ou seja, o percurso de ações, interações, reflexões e escolhas feitas pelos estudantes no momento da modelagem. Como os casos não foram acompanhados no momento efetivo das ações, a coleta de dados foi por relato a posteriori, a partir da memória dos indivíduos, por ocasião das entrevistas, que basearam-se nos desenhos modelados por eles próprios.

Como é possível que entrevistados sobre fatos passados nem sempre são fidedignos ao pensamento, ao gesto ou à ação realizada no momento da tomada de decisão, realizamos, nos amparando na técnica da autoconfrontação (THEUREAU, 2014), mais de 3 (três) entrevistas

com cada estudante, buscando “recolocá-los” na situação. Dito de outra forma, buscamos rememorar com eles, por meio do relato a experiência vivida durante o percurso da modelagem dos artefatos - o que foi feito e por que foi feito -, buscando, assim, esclarecer ambiguidades, entender melhor os significados incorporados às suas ações, bem como melhor descrever e compreender a experiência e suas justificativas. As entrevistas encontram-se transcritas no APÊNDICE I, com os entrevistados sendo identificados aleatoriamente como EST X, EST Y, e EST Z. Demais nomes de pessoas citados nas entrevistas serão substituídos por letras do alfabeto a fim de resguardar as identidades.

Posteriormente, para melhor descrever, compreender e analisar a ação técnica da modelagem, buscamos, intrinsecamente vinculado às entrevistas, reconstruir uma narrativa da história do desenvolvimento dos artefatos investigados, por meio da Etnografia das Técnicas (VINCK, p. 2013). Essa modalidade metodológica de investigação busca compreender uma cultura, uma atividade e/ou um contexto específicos, com suas práticas e valores, o que nos informa “a respeito do que faz sentido para as pessoas [...] ligado ao que [as pessoas] fazem, às ações que desenvolvem e aos resultados e desempenhos que atingem” (VINCK, 2013, p. 3). No caso desta pesquisa, trata-se tanto de um contexto de aprendizagem quanto da ação técnica no universo da engenharia mecânica, circunscrita na atividade de design em engenharia, especificamente na modelagem de soluções no âmbito do projeto BAJA UFMG. Assim, por meio das entrevistas com os estudantes envolvidos, buscamos recontar a experiência, apreender, descrever e detalhar a atividade da modelagem de um artefato técnico, para tentar revelar, compreender e analisar a prática - a maneira e as justificativas -, bem como os demais fatores determinantes do processo da modelagem realizado pelo estudante.

3.3 Tratamento e análise de dados: codificações

Como forma de buscar compreender as práticas, os significados imbuídos nas ações e as condições em que o processo da modelagem ocorreu, procedemos a um exercício de análise e codificação das narrativas, pelo agrupamento de elementos essenciais e significativos expressos nos relatos dos estudantes. A fase das codificações consistiu em “categorizar segmentos de dados com uma denominação concisa que, simultaneamente, resume e representa cada parte dos dados” (CHARMAZ, 2009, p. 69). Trata-se de um exercício de extrair unidades de significação em níveis, indo do mais imediato até a abstração em categorias de análise, ou seja, um exercício de análise e depuramento das codificações emergentes, conforme o processo da *Grounded Theory*.

Assim, a partir do exercício da prática da modelagem, das entrevistas e narrativas do desenvolvimento dos artefatos, buscamos evidenciar elementos, fatores, ações e seus significados na atividade do design em engenharia, para, então, efetuar um exercício de análise e codificação inicial. A codificação inicial “linha a linha” serve para captar narrativas significativas e consequentes das atividades desenvolvidas no fenômeno ou processo em estudo, identificando “preocupações implícitas e as afirmações explícitas” (CHARMAZ, 2009, p. 78). A essa primeira abordagem, sucedeu-se um segundo nível, a codificação intermediária ou focalizada, que requer “a tomada de decisão sobre quais os códigos iniciais permitem uma compreensão analítica melhor para categorizar os seus dados de forma incisiva e completa” (CHARMAZ, 2009, p. 87). Feito isso, utilizamos os códigos mais significativos e/ou frequentes para compor unidades de análise categorial. O processo de análise e codificação é o “elo fundamental entre a coleta de dados e o desenvolvimento de uma teoria emergente para explicar esses dados. Pela codificação, [se] define o que ocorre nos dados e começa a debater-se com o que isso significa” (CHARMAZ, 2009, p. 70), ainda que de forma preliminar. Posteriormente, aconteceu a reflexão e o refinamento, transformando e elevando unidades de significação iniciais à condição de categorias teóricas de análise pertinentes à questão da pesquisa e à construção da tese.

Feita a codificação, realizamos um exercício de interpretação analítica - inferências, avaliações e considerações - sobre o fenômeno estudado e as condicionantes, o que resultou no Quadro 27 com as categorias de análise, apresentado no capítulo 5. Assim, após a análise, a codificação e a consolidação das unidades de análise, a avaliação e a construção de uma argumentação interpretativa substantiva deram suporte à tese defendida, oferecendo uma contribuição para o entendimento do fenômeno - tal como ensejado pelo delineamento do objeto de pesquisa, pela justificativa e pelos objetivos propostos -, o que será apresentado nas considerações finais.

4 A EQUIPE BAJA UFMG E OS CASOS DE ESTUDO

4.1 Sobre a Equipe e seu Contexto

A equipe BAJA UFMG foi fundada em 1997, como um projeto educativo de extensão, cujas atividades compreendiam o projeto de construção de um protótipo de veículo para participação em competições entre instituições de ensino de engenharia. Segundo o Estatuto da equipe, dentre os objetivos e finalidades do projeto estão: proporcionar a aplicação prática de conhecimentos; incentivar a capacidade empreendedora; promover o aprendizado e a vivência no desenvolvimento de um projeto; proporcionar uma visão profissional durante a formação acadêmica. A competição BAJA SAE Brasil¹⁷ propõe aos estudantes o desafio de construir um protótipo de um veículo esportivo do tipo fora-de-estrada para um condutor, o que traz a oportunidade de os estudantes aplicarem, na prática, conhecimentos teóricos, aliados ao desenvolvimento de conhecimentos práticos do engenheiro (SAE, 2018). Segundo o regulamento da competição, o veículo “deve ser um protótipo para produção em série, confiável, de fácil manutenção, ergonômico e econômico”, devendo ainda buscar alcançar o melhor desempenho “em termos de velocidade, manobrabilidade, conforto e robustez em terreno acidentado” (SAE, 2018, p. 9). Dessa forma, o processo de desenvolvimento do protótipo envolve o estudante em um projeto real desenvolvido desde a concepção, modelagem, construção, testes, levando o estudante a desenvolver um perfil profissional que inclui conhecimentos, habilidades e atitudes. Isso torna a experiência relevante no que se refere ao aprendizado e à formação no campo do design em engenharia, bem como na prática projetual.

A competição promove a avaliação comparativa entre os projetos técnicos e fomenta um espírito competitivo nas equipes, disparando um processo de busca por soluções de aprimoramento e desenvolvimento do protótipo nos vários subsistemas técnicos que compõem o veículo (SAE, 2018), quais sejam, *powertrain*, freios, suspensão e direção, eletrônica, cálculo estrutural, design, além de gestão, vendas e marketing.

Apesar das regras e especificações da competição em relação aos requisitos técnicos e de segurança, há espaço para que as equipes busquem soluções de aprimoramento dos protótipos, sendo que o problema posto é o de construir um veículo melhor do que o do ano

¹⁷ As competições ocorrem anualmente, nas modalidades regional, nacional e internacional, e são organizadas pela Sociedade de Engenheiros para a Mobilidade, subsidiária da *Society of Automotive Engineers* (SAE).

anterior e em condições de almejar o pódio nas competições.¹⁸ Portanto, há uma pressão externa por desempenho, o que funciona como um fator motivacional e de envolvimento dos estudantes, fomentando um espírito de corresponsabilidade e colaboração no desenvolvimento do projeto.

O projeto e a equipe estão sujeitos a vários tipos de pressões e restrições externas e internas, o que, sobremaneira, influencia as condições, a condução e as decisões de projeto. Entre essas pressões e restrições, estão as regras da competição, recursos financeiros, materiais e questões da gestão da equipe, como o gerenciamento do tempo para desenvolver soluções. Como ocorrem três competições no ano, (a regional sudeste, a nacional e a internacional),¹⁹ os estudantes têm menos de seis meses para realizarem modificações no protótipo, caso decidam que elas devam entrar na próxima competição. Porém, pode ocorrer projetos de alteração, que são pensados para o longo prazo, como a versão do protótipo com tração nas quatro rodas, previsto para 2024 e cujo projeto ainda está na fase de coleta de dados iniciais.

Outra característica do projeto BAJA UFMG é que trata-se de uma Atividade Complementar eletiva, ou seja, a participação não é uma obrigação curricular, mas voluntária. Formalmente, o projeto requer que os estudantes cumpram uma carga horária mínima de 20 horas semanais de dedicação. Entretanto, os estudantes ultrapassam em muito esse tempo em atividades, pois a dinâmica e o próprio objeto do projeto - o protótipo, que carrega em si tanto um significado de objeto pedagógico de aprendizagem quanto de objeto lúdico - criam vínculos afetivos de amizade e companheirismo entre os estudantes e com o projeto em geral. Isso faz com que ex-integrantes, recorrentemente, contribuam nos projetos de aprimoramento dos subsistemas, inclusive comparecendo às competições para oferecer apoio.

A despeito das diferenças de opiniões de toda ordem, técnicas ou não, é esperado, como mencionado nos princípios gerais do Estatuto do BAJA, que o estudante desenvolva boa convivência e respeito ao “outro”, coopere, exerça autonomia, sendo responsável pelos próprios atos e tendo direito a se expressar. Assim, espera-se que ele tenha uma participação ativa no desenvolvimento de um projeto, uma vez que o BAJA adota práticas de autogestão coletiva, permitindo o melhor aproveitamento do processo de aprendizagem e o desenvolvimento pessoal. Por outro lado, para quaisquer comportamentos antiéticos prejudiciais ao

¹⁸ Alguns resultados obtidos pela equipe BAJA UFMG, nas competições, foram: na competição nacional, 2 primeiros lugares (2013, 2015), 2 segundos lugares (2017, 2018) e 1 terceiro lugar (2016); 4 primeiros lugares na competição regional (2014, 2016, 2017, 2018 e em 2020 de forma virtual); um 5º lugar na internacional (2013), sendo que já participou de 6 internacionais; 8 primeiros lugares em apresentação de projeto técnico, dentre outras colocações e prêmios de destaque em projetos específicos.

¹⁹ Só participam da competição internacional as três primeiras equipes ganhadoras da competição nacional.

funcionamento da equipe ou à sua imagem, são previstos advertência e desligamento do estudante, mediante votação da equipe. *A priori*, não há um prazo mínimo²⁰ nem máximo para a participação do estudante no projeto, porém, geralmente, os estudantes costumam permanecer por, no mínimo, uma temporada de um ano. Em março de 2019, a equipe contava com 26 estudantes das engenharias Mecânica, de Produção, Controle e Automação, incluindo ainda estudantes de Administração. Mas, durante o período da pandemia, houve grande redução no número de integrantes, bem como processo seletivo online. Em setembro de 2022, a equipe já era formada por outro grupo de 13 estudantes e mais dois remanescentes do ano de 2020, sendo que cada subsistema contava, no mínimo, com dois estudantes. Como a participação é voluntária, os estudantes podem sair a qualquer momento e, por isso, pode ocorrer flutuação no número de membros. Para suprir o desligamento de estudantes e dar continuidade ao desenvolvimento do protótipo, a equipe realiza, regularmente, a seleção de novos integrantes, por meio de um processo que inclui uma prova sobre o regulamento da competição e conhecimentos teóricos sobre subsistemas técnicos, sobre palestras com veteranos dos subsistemas e período prático de tarefas de oficina. Ao ingressarem na equipe, os estudantes escolhem, por afinidade, de qual subsistema querem fazer parte, mas é facultado a eles, caso desejem, a troca de subsistema e também a possibilidade de realizarem tarefas de colaboração em atividades de outro subsistema. Além disso, realizam atividades gerais, como organização do processo seletivo de novos membros, participação e apresentações em eventos e na própria competição, prospecção de patrocínios etc. Geralmente, o grupo de estudantes da equipe é heterogêneo, com membros de ambos os sexos (embora predominantemente masculino), na faixa etária entre 18 e 22 anos e cursando diversos períodos de seus respectivos cursos.

O professor orientador pertence ao quadro funcional efetivo da instituição, sendo vinculado ao Departamento de Engenharia Mecânica, e seu papel é o de ser uma referência técnica para os estudantes. Quando demandado, presta contribuições técnico-científicas, concedendo autonomia para a equipe tomar decisões de projeto, uma vez que, segundo o regulamento da competição, cabe aos estudantes todo o desenvolvimento do protótipo. É necessário ressaltar a peculiaridade de que o atual orientador foi membro da equipe quando estava na graduação, o que indica um forte vínculo com a história da equipe.

20 Segundo o Estatuto da equipe, somente recebe certificado de participação no projeto o estudante que permanecer por, pelo menos, 6 meses.

4.2 As Atividades Desenvolvidas, o Processo Projetual e o Projeto Técnico

O trabalho desenvolvido compreende uma série de atividades que configuram o processo projetual. Após cada competição, é realizado um planejamento cronológico macro das atividades gerais e as de cada subsistema técnico, com as datas da próxima competição e a previsão do tempo necessário para as propostas de mudanças, fabricação, testes etc. Não há, a princípio, um manual de procedimentos e prescrições fixas para as atividades, mas sim requisitos mínimos para participar da competição, bem como regulamentos de segurança. Entretanto, para o organização e acompanhamento do projeto, a equipe estrutura as atividades nas seguintes fases: anteprojeto para elaboração de metas e coleta de dados de entrada, quando a equipe realiza um *brainstorming* e *benchmarking*²¹; desenvolvimento dos projetos técnicos dos subsistemas, a modelagem propriamente dita, com dimensionamentos e especificações gerais; fabricação; testes teóricos e práticos - quando possível, uma vez que, para determinados testes, o protótipo deve estar montado; mas, em geral, os testes são recorrentes, ocorrendo durante todas as fases. Aliado a esse planejamento básico e preliminar – obviamente sujeito a contingências e alterações -, a equipe utiliza a metodologia de gestão à vista *Kanban*²² e a gestão ágil *Scrum*²³ para o acompanhamento das atividades e entregas estabelecidas de forma ágil. As atividades são desenvolvidas pelos integrantes em cada subsistema técnico a que estão vinculados, de forma individual e/ou coletiva, conforme as decisões discricionárias da equipe e/ou práticas tácitas já estabelecidas.

As atividades constituem-se, entre outras, em: reuniões gerais e as específicas de subsistemas técnicos; estudos e pesquisas sobre tópicos envolvidos na construção do protótipo e realizadas pelos próprios estudantes, incluindo aqui as modelagens e simulações com uso de ferramentas computacionais e/ou materiais, máquinas e equipamentos de oficina; operações diversas de montagem, manutenção e fabricação em oficina; testes diversos de validação; minicursos de capacitação; seleção e programa de treinamento de novatos; preparação para

²¹ Prática amplamente disseminada em todos os campos de trabalho e que consiste em identificar as melhores práticas ou o estado da arte de determinada área de atuação/domínio, com o objetivo de comparar, aprender e melhorar atuação e resultados de determinada atividade.

²² Método de gestão de origem japonesa mundialmente disseminado e que consiste na utilização de quadros de sinalização para que equipes de trabalho possam controlar o fluxo de atividades de trabalho, estoques, etc., visando a melhoria dos processos de trabalho em termos de produtividade, eficiência, qualidade, etc.

²³ Metodologia de gerenciamento de projetos em equipes que particiona tarefas e metas a serem entregues em ciclos iterativos, de forma a alcançar a completude de um projeto no menor tempo possível.

eventos diversos e para a própria competição, como relatórios técnicos; contatos com fornecedores e patrocinadores.

Fundamentalmente, as reuniões - o momento de discussão e deliberação – são os espaços em que se estabelecem as diretrizes e as atividades da equipe. As pautas são apresentadas, analisadas e discutidas em seus aspectos técnicos e de viabilidade de resolução, prazos e custos. São nesses momentos que os estudantes apresentam: ideias - como nas reuniões de *brainstorming* no pós-competição -, problemas e dificuldades que vão aparecendo ao longo do projeto, o que pesquisaram sobre determinado problema ou, ainda, o que idealizaram e modelaram, discutindo livremente e trocando informações a partir dos conhecimentos que têm. Além disso, se deparam com questões/tópicos técnico-científicos envolvidos nos problemas que não conhecem e que se tornam objetos de pesquisa e estudos.

Conduzidas pelo Núcleo Administrativo (NA), composto por um Presidente e Vice-Presidente - no caso de reuniões gerais - ou pelo Chefe do Subsistema - no caso das reuniões de Subsistema, com um número menor de membros e circunscritas às áreas técnicas pertinentes -, as reuniões são um dos momentos de encontro e interação, onde todos têm direito à fala, à proposição de alternativas, sugestões em geral, críticas, exposição de dúvidas e posicionamentos individuais. E é nesse momento que as decisões e orientações de projeto são discutidas e consensualmente validadas, sendo necessário o voto da maioria simples, com todos tendo direito ao voto; devido à autonomia deliberativa da equipe, a presença do professor nas reuniões é opcional. Também ocorrem reuniões em encontros informais ou mesmo via aplicativos de mensagens, em aparelho celular ou computador. O professor, se presente, faz ponderações e pontuações nas discussões, apresentando suas perspectivas sobre os problemas e dando orientações pertinentes, conforme o caso e a demanda. Assim, é a partir da dinâmica das reuniões e discussões que são estabelecidas as atividades, tarefas e cronogramas e são disparadas todas as ações da equipe, bem como realizadas as escolhas e orientação do projeto técnico; são nesses momentos que a história e narrativa do desenvolvimento do protótipo vai sendo construída.

As pesquisas e estudos teóricos relativos aos problemas enfrentados são realizadas de forma individual e/ou coletivamente, com consulta a professores, especialistas, ex-integrantes (pela experiência adquirida) e em livros, manuais, internet etc. Posteriormente, nas reuniões seguintes – dependendo da celeridade entre pesquisa, análise e proposição de solução - o estudante apresenta o resultado de tais buscas; ou ainda se a resolução ocorrer no intervalo entre reuniões, o estudante somente reporta que tal pesquisa ou atividade já tenha sido realizada. Os

estudos, modelagens e testes promovem o aprofundamento de conhecimentos sobre as soluções e artefatos elaborados, bem como sobre tópicos diversos até então não dominados pelos estudantes. Assim, promovem a agregação de novos saberes, ao passo que, nesse mesmo percurso investigativo – na prática de pesquisa -, o estudante evoca seus conhecimentos e experiências prévias. Nessa mesma linha de pesquisas e estudos, encontram-se testes teóricos prévios à fabricação e as modelagens e simulações realizadas por meio de ferramentas computacionais, uma vez que constituem-se em imersões em experimentações e possibilidades de soluções práticas.

Com relação às atividades de testes, são realizados diversos de validação em peças, componentes e mecanismos constitutivos do veículo.²⁴ Apesar de não haver prescrição de testes no regulamento da competição, eles são estabelecidos pelos subsistemas técnicos para justificar as escolhas de projeto. Também são realizados testes simulando as condições da competição, para verificação de desempenho do veículo em condições reais, o que configura momentos de pesquisa, estudos, aprofundamento, ajustes técnicos no projeto e aprendizado. Os estudos, pesquisas e testes realizados são fundamentais para a construção de um protótipo robusto e de alto desempenho, como também compõem os relatórios técnicos que são entregues e apresentados oralmente na competição.

As práticas de oficina englobam atividades de fabricação de peças, montagem, manutenção e ajustes no veículo e exigem o manuseio de ferramentas diversas, equipamentos e instrumentos de medição e máquinas de uso industrial, como torno e fresa por CNC,²⁵ máquina de solda, calandra, furadeira de bancada, esmeril, prensa hidráulica etc. Considerando as operações envolvidas, elas também são muitas, entre as quais destacamos: usinar (torno e fresa), soldar, laminar, calibrar, dentre outras operações referentes às diversas tarefas. Essas práticas são executadas de maneira autônoma pelos estudantes, que são instruídos pelos seus pares mais experientes, em workshops.

Em termos de fabricação, o volume de trabalho efetivo em oficina é relativamente alto e, com exceção do motor, pneus, rodas, amortecedores e pequenos componentes e peças como molas, parafusos e rolamentos - devido à inviabilidade técnica de serem fabricados na própria

²⁴ Alguns testes reportados nos relatórios foram: validação modal, validação transiente, caracterização do conjunto mola-amortecedor, ensaio de torque atuante nos semi-eixos, validação da CVT, validação do modelo de rolagem, temperatura do fluido de freio e pressão na linha de freio, *coastdown*, ensaio de cargas atuantes e caracterização lateral, dentre outros.

²⁵ CNC - controle numérico computadorizado -, é um sistema de controle de execução de tarefas por máquinas, por intermédio de códigos e programas de computador específicos para fabricação de peças complexas e de alta precisão.

oficina -, todo o restante do protótipo é fabricado pelos estudantes, passando pelo chassi, volante, assento do piloto, painel, *chicote*, circuitos eletrônicos, bancos, diversos componentes da suspensão, CVT,²⁶ caixa de redução, disco de freios, tirantes, dentre outros.

4.2.1 A gestão do processo projetual e do projeto técnico

De forma geral, em um nível macro, a gestão do projeto BAJA UFMG compreende o acompanhamento das atividades retromencionadas e é feita pela equipe do NA. Mas, de forma específica, em um nível micro, a gestão dos projetos técnicos, ou seja, o detalhamento, as especificações e modelagens de peças, componentes e mecanismos são pertinentes e encontram-se sob a gestão dos chefes dos subsistemas técnicos do protótipo, bem como do estudante imediatamente envolvido no desenvolvimento das propostas de soluções; eventualmente, questões de impacto mais geral são trazidas para reuniões gerais. Fazer a gestão de um projeto é fazer o gerenciamento da execução propriamente dita e consiste em um esforço em conduzir e organizar as atividades e subprocessos correlacionados, de modo a alcançar, da forma mais adequada, a finalização e entrega de um objeto técnico específico ou das partes que o compõem. Tal empenho envolve as atividades efetivamente realizadas e que serão o pano de fundo e o eixo orientador das fases, culminando em ações e decisões de projeto referentes a soluções de aprimoramento que serão relatadas nas seções seguintes e analisadas no capítulo 5 especificamente no momento da modelagem das soluções realizadas pelos estudantes.

4.2.2 As fases “previstas” do processo do projeto

Segundo o Relatório de Projeto (2018) elaborado pela equipe, o desenvolvimento do protótipo teve como referência a metodologia do *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK), que consiste em uma fase de iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle e, ainda, encerramento. Entretanto, a equipe adaptou esse roteiro para atender às especificidades do projeto e ao cronograma da temporada,²⁷ estruturando suas fases em: anteprojecto, com elaboração de metas e dados de entrada - a ideiação quando a equipe procede

²⁶ *Continuous variable transmission* - transmissão continuamente variável - é um mecanismo de transmissão que substitui a relação de engrenagens das marchas por um sistema de polias interligadas por uma correia de alta resistência.

²⁷ O relatório de 2018 foi entregue à competição em dezembro daquele ano e diz respeito ao projeto técnico do protótipo a ser apresentado na competição nacional de março de 2019, isto é, o relatório é submetido em data anterior à data da competição, quando então ocorrem as apresentações técnicas dos subsistemas para os juizes da competição.

ao *brainstorming* e a um *benchmarking*; projeto detalhado por Subsistema Técnico - a modelagem de componentes, peças e mecanismos com dimensionamentos e especificações gerais; fabricação; testes. Abaixo, apresentamos um quadro das fases do processo.

QUADRO 1 - OS PASSOS DO PROCESSO PROJETUAL

Anteprojeto	Projeto detalhado - modelagem	Fabricação	Testes
Discussão sobre o resultado da competição; brainstorming; benchmarking; estabelecimento de metas e melhorias.	Entrada de dados – ensaios realizados com protótipos anteriores para o dimensionamento dos componentes a serem alterados; Estudos e Pesquisas; Modelagem.	A fase de fabricação. A maioria das peças e componentes são feitos na oficina, entretanto os de maior complexidade e inviáveis de serem produzidos localmente são encomendados como o motor, amortecedor, pneu, alguns componentes eletrônicos, etc.	Os testes teóricos ou de validação são realizados desde a fase Projeto Detalhado e na verdade ocorre a todo momento do processo. Alguns componentes e testes precisam ser fabricados para testar. A competição é um teste real.

Fonte: elaboração a partir do Relatório de Projeto Equipe Baja UFMG 2018

Apesar da importância da competição e da pressão externa que ela exerce como motivação geral ao projeto, para efeito desta pesquisa, consideramos a competição como um evento da fase Teste, um teste real de uso e validação final do protótipo, uma vez que a competição também compreende a avaliação externa do projeto e, a partir dela, por consequência, ocorre a retroalimentação dos resultados. Erros e falhas percebidos demandam futuros aprimoramentos e inovações no protótipo, que é o que a equipe efetivamente faz continuamente, ou seja, o reprojeto com melhorias sob uma base de projeto já existente. Ademais, na competição podem ocorrer imprevistos e problemas que demandem soluções emergenciais ou temporárias por parte da equipe, que também são incorporadas como conhecimento do protótipo.

Para o intuito da investigação desta pesquisa e a partir dos passos do processo projetual, é possível vislumbrar onde, efetivamente, o estudante diretamente envolvido na proposta de mudança age e toma decisões em termos de design que são representativas das demandas da realidade prática do projeto e da atividade fundamental da engenharia, a de projetar soluções. Para isso, optamos por destacar a fase do detalhamento do projeto donde se encontra a modelagem, tomando-a como a situação de referência a ser investigada, pois circunscrito a ela encontram-se as situações de ação característica. O momento da modelagem não representa todo o processo projetual, mas é representativo do processo de projetar e pode-se considerar

que condensa outros momentos do projeto, como a ideação. Durante a modelagem da forma e função, também ocorre a revisão/avaliação das ideias iniciais e seu desenvolvimento; discussão e interação com outros integrantes e outros subsistemas, testes teóricos e mesmo a fabricação também são levados em conta. Reavaliações e reprojeto de versões anteriores são derivados dos resultados da competição que, ao final, também acabam por servir de base para nova ideação e remodelagem, reiniciando o ciclo projetual.

O processo dos projetos técnicos de cada subsistema para desenvolver as modificações e/ou aprimoramentos no protótipo, via modelagem de soluções, ocorre entre os eventos de competição, que são realizados duas vezes ao ano (exceto no período da pandemia, quando houve uma relativa suspensão das atividades). Assim, o desenvolvimento de novas soluções ocorre, no máximo, de seis em seis meses e os estudantes que desenvolvem as modelagens das soluções vão se adaptando ao cronograma interno, estabelecido pela equipe nos subsistemas, e ao cronograma externo, estabelecido pela competição, como a data de entrega de relatório técnico, que ocorre previamente - cerca de dois a três meses antes do dia da competição.

Tanto o planejamento e a gestão no nível macro da equipe quanto o acompanhamento dos projetos técnicos são conduzidos pela equipe, por meio das reuniões de avaliação, do acompanhamento das atividades e das entregas, gerais ou de subsistemas, com a adoção de ferramentas de gestão, pelo gerenciamento ágil *Scrum* e *Kanban*, como mencionado. Visa-se, fundamentalmente, a coordenação e integração das partes de um todo, de modo a entregar, ao final de um período, um resultado com certas especificações. Ao final de cada temporada de competição, o ciclo da gestão do projeto como um todo é reiniciado, momento no qual se buscam as ações corretivas e o aprimoramento contínuo do projeto técnico.

A despeito da tentativa de planificação, coordenação e integração na execução do projeto, esse processo está sujeito a restrições, imprevistos e problemas de toda ordem, como a quebra de peças, atrasos de fornecedores, erros e tentativas de execução de tarefas pelos estudantes, o que põe à prova a capacidade da equipe de reformular e reelaborar suas ações, tornando o gerenciamento do projeto técnico um processo contínuo. Apesar de a competição ser um fato pontual, as atividades da equipe não param, pois, o projeto e suas atividades encontram-se circunscritos em um ciclo dinâmico; logo após a competição, já se iniciam os ajustes ou a projeção do novo veículo para a competição seguinte.

4.3 Os Casos de Estudo

Conforme referenciado no capítulo anterior, esta seção foi elaborada baseando-se na metodologia da etnografia, modalidade de investigação que busca compreender uma cultura, uma atividade e ou contexto específicos, com suas práticas e valores, no caso desta pesquisa, trata-se de atividade que contempla a ação técnica no universo da engenharia mecânica, circunscrita na atividade de design em engenharia e, especificamente, na modelagem de soluções no âmbito do projeto BAJA UFMG. Assim, por meio de diversas entrevistas com os estudantes envolvidos, buscamos recontar a experiência, apreender, descrever e detalhar a atividade da modelagem de um artefato técnico, na tentativa de revelar a prática - a maneira e as justificativas -, bem como os demais fatores determinantes do processo da modelagem realizado pelo estudante diretamente envolvido no desenvolvimento do artefato.

É necessário destacar que não houve um plano prescrito e a atividade da modelagem foi conduzida autonomamente, de forma individual, por cada estudante envolvido na atividade, apesar de ser, também, a todo momento, um trabalho de discussão e colaboração entre os integrantes do subsistema técnico envolvido. Nesse percurso de construção da modelagem, o estudante se depara com a necessidade de pesquisa e aplicação de conhecimentos técnico-científicos estabelecidos, mas se depara também com situações indeterminadas, com a incerteza e o desconhecido, com momentos de experimentação, explorações e escolhas a fazer. Esses momentos críticos serão relatados e destacados por meio de narrativa de três casos significativos e a análise contando a história do desenvolvimento de tais artefatos técnicos.

4.3.1 O caso da modelagem do Mecanismo de Esterçamento Traseiro - MET

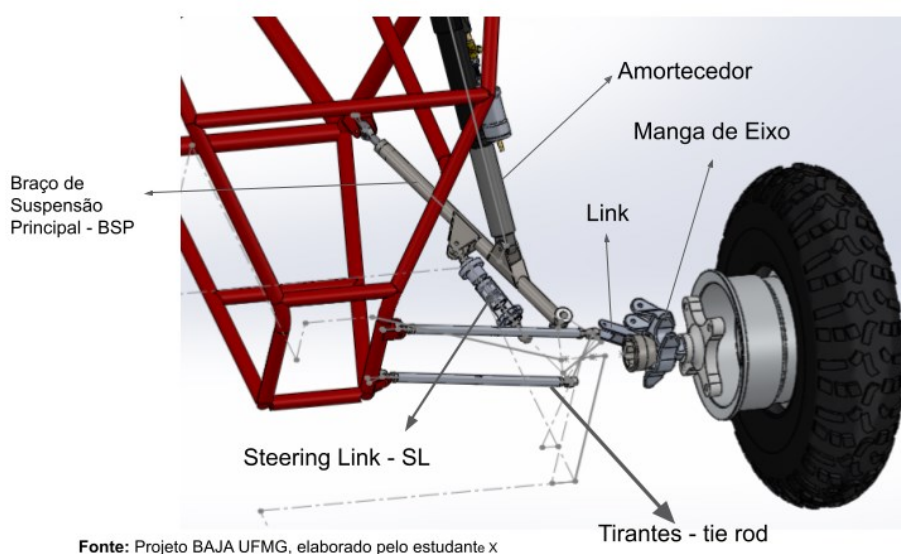
O conceito do Mecanismo de Esterçamento Traseiro (MET) já existe em alguns nichos da indústria automobilística, como carros esportivos da Porsche e na Fórmula 1; no segmento *off road* e na categoria baja, algumas equipes dos Estados Unidos o utilizam. Também a equipe brasileira da FEI (Fundação Educacional Inaciana/SP) já recorreu a tal mecanismo em 2017, mas atualmente só a equipe BAJA UFMG o utiliza.

Desenvolver o MET foi estabelecido como um dos objetivos da equipe após a competição nacional de março de 2018, quando o protótipo apresentou desempenho insatisfatório nas provas da competição em termos de manobrabilidade, aceleração e velocidade. Como é de praxe nas atividades da equipe, após as competições, foi realizada uma reunião de avaliação e o *brainstorming* para discussão de possíveis novas alterações, melhorias

e avanços no protótipo, quando ficou decidido o desenvolvimento de tal mecanismo pois a equipe buscava melhorar o desempenho dinâmico longitudinal e lateral do protótipo. A utilização do MET foi aprovada porque, ao reduzir o raio da curva, ele permite ao veículo fazer curvas em espaços menores e, conseqüentemente, a retomada do percurso do veículo em linha reta também é beneficiada. Especificamente no que diz respeito ao desempenho lateral, os estudantes usaram o MET buscando aumentar a tendência direcional sobre-esterçante, ou seja, uma melhor resposta do protótipo nas mudanças de faixa de rolagem ou curvas, pois esse mecanismo propicia uma resposta de curva mais imediata (RELATÓRIO BAJA, 2018).

O MET baseia-se em uma geometria - forma e parâmetros - específica e é um conjunto de componentes que promovem um esterçamento - ato ou resultado de girar o volante, o que permite a inclinação das rodas e, por conseguinte, a alteração da trajetória do veículo. Tal mecanismo possui uma mola de compressão e comprimento ajustável (o *Steering Link - SL*) ligada, em uma de suas extremidades, ao braço de suspensão principal (BSP) e, na outra extremidade, por meio de um *link* acoplado na manga de eixo, ela é acoplada às rodas traseiras. O conjunto da geometria compreende ainda outros elementos, como os tirantes, amortecedor e parâmetros teóricos que influenciam seu funcionamento. A primeira versão do MET desenvolvida pela equipe BAJA UFMG pode ser vista abaixo, na Figura 1.

FIGURA 1 - COMPONENTES DO MECANISMO DE ESTERÇAMENTO TRASEIRO



A questão técnica subjacente ao problema de se projetar tal mecanismo foi elaborar um arranjo específico de forças atuantes, ângulos e medidas que compusessem a geometria e

possibilitassem o movimento de abertura da roda traseira do carro ao fazer curvas, materializando o artefato conforme o desempenho desejado.

Apesar de a ideia não ser original, tratava-se da inserção de um novo mecanismo no protótipo, o que era novidade para os integrantes envolvidos em seu desenvolvimento, ou seja, eles tinham o desafio de projetar e desenvolver sem um histórico construtivo por parte da equipe, além de descobrirem como funcionava tal mecanismo, uma vez que, na literatura, não há especificações precisas e uma heurística para tal realização. Não houve um plano formal, prescrito e a atividade da modelagem se desenrolou intuitivamente pelos estudantes, no sentido de que o grupo foi construindo na prática, com tentativas, erros e acertos, uso de saberes da experiência passada da equipe, saberes técnico-científicos, bem como o enfrentamento de dúvidas e incertezas.

A partir da decisão da equipe, o trabalho do detalhamento e modelagem do mecanismo foi desenvolvido pelos estudantes do Subsistema Suspensão e Direção (SUSPDIR), que vão, efetivamente, modelar a solução, iniciando pelos esboços da geometria da suspensão, por meio de programa de design computacional em 3D - o SolidWorks. A todo momento, as questões foram discutidas com membros do subsistema, mas o trabalho da modelagem - o detalhamento do projeto técnico - é conduzido pelo estudante diretamente envolvido na modelagem da solução. Inicialmente, a atividade da modelagem foi realizada por dois estudantes, sendo que um fez a modelagem da geometria - o esquema geral - e, posteriormente, a modelagem das peças; o outro estudante fez, especificamente, a modelagem do SL, o componente que comporta a mola. Em uma segunda fase, um terceiro estudante reprojeteu correções na versão inicial e, por último, já durante o período de isolamento social, em 2020, foi feita a modelagem da terceira versão: o último estudante remodelou para um SL pneumático, sem a mola de compressão e funcionando a ar.

O estudante que executou a modelagem da geometria do MET (EST X) relata que tudo começa com conversas com membros da equipe e pesquisas sobre o tema:

[...] a gente fazia reunião [...] ‘se ficar desse jeito o que impacta para você’, ‘e para mim’ [...] ‘o que é mais importante’. A gente debatia e chegava a uma conclusão [...] a gente teve que agregar conhecimentos de dinâmica veicular, tínhamos esboços [...] da suspensão do 18 [protótipo anterior], tinha um mecanismo como este, não tão complexos, não era igual, mas tinha o braço, o amortecedor, a manga, os tirantes, o raio da roda, tinha uma base anterior para melhorar. O Baja funciona assim, pega o anterior, vê o que deu errado e o que deu certo, como foi feito e toma como base (EST X).

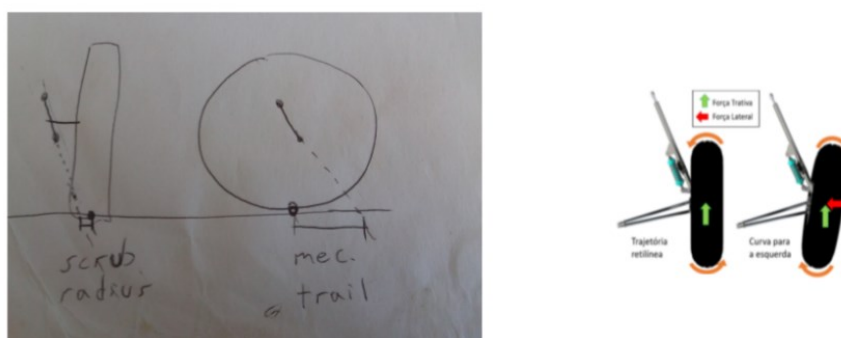
[...] não tinha uma referência exata em que se basear...não sabíamos como fazer...aí fui pesquisar, na verdade antes de pesquisar a gente reunia eu e mais outros colegas [...] quando vimos o [mecanismo] da FEI tentamos entender, deve funcionar assim, assim [...] fiquei a noite inteira pesquisando, foi só usando os conceitos, para onde as forças atuam para onde estão apontadas, quando ela vai atuar (EST X).

[...] o que eu buscava achar seria os conceitos, os princípios que deveriam reger o funcionamento do mecanismo porque eu não iria achar uma informação precisa, tipo coloca tantos graus de caster etc. [...] tem a especificidade de cada veículo e situação [...] achei pouca coisa (EST X).

O problema posto - modelar uma solução para um mecanismo - se apresentou mal-estruturado, pois não havia informações precisas de como resolvê-lo, dos caminhos e decisões a serem percorridos, da forma que tomaria o mecanismo, sua geometria e seus subcomponentes, das soluções indicadas por manuais, livros texto etc. Nesse sentido, a modelagem é, e foi, um exercício de organização e/ou estruturação de um campo de trabalho, bem como um exercício de especulação e exploração de possibilidades com as quais o estudante se depara.

Entretanto, sabe-se, pela disciplina Dinâmica Veicular e pela Física, que há forças atuantes nos componentes do mecanismo e braços de alavanca²⁸ - *scrub radius* (relativo ao movimento lateral e ao eixo de deslocamento e esterçamento da roda) e *mechanical trail* (relativo ao movimento longitudinal e ao alinhamento da roda). Essas forças configuram o princípio básico, gerando o funcionamento e promovendo a compressão ou decompressão da mola no SL e, conseqüentemente, a rotação da roda, inclinando-a nas curvas e alinhando-a em trajetória reta. A partir dessa primeira informação, foi desenhado o primeiro esboço e o esquema das forças atuantes, como podemos ver na FIGURA 2 abaixo,

FIGURA 2 - ESBOÇO E FORÇAS ATUANTES DO MET



Fonte: Projeto BAJA UFMG, elaborado pelo estudante x

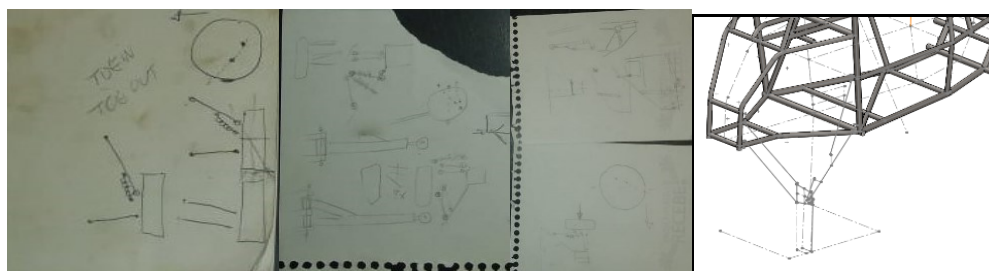
²⁸ Braço de alavanca é um conceito da Física e representa uma distância entre o ponto de aplicação de uma força até um determinado eixo rotacional; tal distância influencia o torque que é a força rotacional (torque= força aplicada x distância do braço de alavanca), que, no caso do MET, faz com que a roda gire em torno dos eixos do pino mestre, o *kingpin*, que é um parâmetro teórico da dinâmica veicular.

Como não havia histórico de tal mecanismo na equipe, tampouco ela estava construindo uma cópia fiel de outro modelo, o estudante procurou estruturar o problema a partir dos princípios de funcionamento, identificando as forças atuantes no movimento desejado das rodas e discutindo com integrantes da equipe as possíveis formas, localizações e angulações dos componentes do mecanismo:

[...] o Y [estudante] me ajudou a pensar onde ia encaixar cada peça. Primeiro pensamos que esta mola [o SL] devia estar entre o chassi e a manga, no cubo de roda, só que não [...] e se a mola ficasse ligando o braço principal no cubo de roda, aí pensamos nisso e onde isso vai ficar [...] a ideia inicial era que a mola ficasse do lado de fora do chassi e resolvemos depois que ficaria apertado (EST X).

Assim, a partir das primeiras conversas, do primeiro apanhado de dados e dos primeiros esboços a mão, foi iniciada a modelagem da geometria, como podemos ver na FIGURA 3 abaixo.

FIGURA 3 - PRIMEIROS ESBOÇOS DO MET



Fonte: Esboços elaborados pelo estudante X.

O chassi do protótipo anterior foi uma base de transição para a equipe projetar o novo mecanismo, transpondo as ideias do esboço a mão para o primeiro esboço no Solidworks, já visualizando-o no novo chassi que estava em desenvolvimento.

[...] eu tinha o carro [o anterior] montado na oficina na minha frente e aí eu vi o que estas linhas iriam virar na vida real e, a partir daí, eu fiz de maneira similar, fui definindo os pontos de ancoragem no chassi [...] o chassi [novo] já estava pré-modelado, já tinha alguma coisa avançada e eu peguei ele como base, alguns parâmetros, por exemplo, a bitola, o entre-eixos, algumas coisas a gente já tinha parâmetro para seguir e aí fui ajustando a geometria que eu tomei como inspiração no carro anterior [...] e fui testar [experimentar] (EST X).

Esse primeiro momento de modelagem é ainda de especulação sobre as condições do funcionamento, sobre os pontos de ancoragem dos elementos constituintes do mecanismo e sobre a composição da forma que tomaria.

[...] a gente pensou e sabe quando vai surgindo, parece que você está compondo uma música, vai [...]vai fazendo o desenho daqui e dali e vai funcionar assim [...] é muito complexo, são linhas que representam os componentes [...] inicialmente fiz só com linhas, um rascunho e imaginando o que estaria no lugar [...] aí fiz o esboço da suspensão e depois projetar os componentes, a peça (EST X).

Questionado sobre o que observou nos momentos de composição e o que significaria o “daqui e dali” a que ele se refere, o estudante aponta:

[...] a gente pensava no que era preciso para o mecanismo funcionar de fato com o esterçamento da roda e pensávamos nos graus de liberdade que ele tinha que travar e liberar e quais componentes a gente iria usar para estes travamentos e esta liberação. No caso do grau de esterçamento, a gente pensou que não poderia ser totalmente liberado, por isso colocamos a mola. Na modelagem, o que era observado era o que já existia nos projetos anteriores, então, é como era a disposição dos componentes, qual espaço disponível que a gente tinha para alocar os componentes, os projetos similares externos, de quais componentes eram compostos, o formato deles (EST X).

O estudante faz menção a detalhes mecânicos implicados na composição, como graus de liberdade, componentes de travamento e restrições, como “não poderia ser totalmente liberado”, fatores que constituem elementos do espaço do design onde ocorre a modelagem e que condicionam a construção da solução e do artefato elaborado. Apesar da referência à busca de informações em projetos externos similares, havia a singularidade da geometria da suspensão do protótipo, que é disposta em uma modalidade de suspensão do tipo multilink. Nessa modalidade, há mais de um ponto de ancoragem e articulação entre o chassi e demais componentes - tirantes, roda/pneu e amortecedor -, por isso o MET adiciona a possibilidade de um deslocamento extra, pelo esterçamento da roda traseira, acoplado a um sistema que já é articulado e suspenso pela presença do amortecedor. Além de adotar a estratégia de buscar referência no que já existe ou no que é similar, mas não idêntico, a questão da funcionalidade - atendimento a uma necessidade prática - é preponderante e a modelagem se orientou pelos princípios, especificações e critérios almejados iniciais relativos ao funcionamento. Tal atitude corrobora com o que Dreyfus (2012) aponta: o fato de estudantes *novatos* ou *iniciantes avançados* serem mais presos às regras - aos saberes e princípios técnico-científicos -, mesmo

estando em uma situação real de modelagem, onde supostamente há liberdade para a criação de novas formas. Assim, a ideia da geometria começou a tomar forma, mas condicionada à funcionalidade pretendida, às restrições espaciais e às condições de contorno e singularidades, às metas gerais estabelecidas para o novo protótipo, aos princípios de funcionamento. O estudante aponta que

[...] o importante é o entendimento do todo, entender que não basta por uma mola lá [...] beleza, eu tenho uma mola lá, mas se não tivesse essa geometria, esses braços de alavanca garantindo essas coisas todas que te mostrei, não funcionaria o mecanismo (EST X).

[...] tem a ver com os braços de alavanca, tem que posicioná-los de acordo com o eixo de pino mestre da roda, para que a força que entra na roda faça com que ela vire pro lado certo, para favorecer o carro fazer a curva [...] tive que posicionar e dimensioná-los [...] [mostrando o desenho] cada ponto verde é uma referência, uma restrição. Por exemplo, este está alinhado com o eixo x, este está perpendicular, este está no ponto médio, coincidente, estas são as cotas, distâncias, eu vou definindo isto [...] este aqui são os *goals*, as metas, então cada cota, na verdade, foi uma meta. Essa era a altura livre do carro, este é o raio do pneu, o centro da roda está aqui [...] eu fui definindo e agregando as metas, as medidas, o centro do carro, a bitola. Esse 30 aqui são os braços de alavanca [...] essa linha é um tirante, esse é o BSP [...] quando são tracejados, são linhas de trabalho, são linhas de construção, de referência [...] estruturei este desenho do zero (EST X).

No momento da composição do desenho, o estudante se guiou também pela questão da necessidade de seus componentes terem uma estrutura construtiva que respondesse aos esforços mecânicos a que o mecanismo estaria submetido, isto é, respondessem às cargas que os componentes recebem durante o uso. Caso não atendessem aos cálculos estruturais, poderiam vir a desgastar, romper e colocar o protótipo em desvantagem nas provas da competição. Como nos lembra Cross (2018), o processo do design e modelagem pode se iniciar por princípios, no caso do MET, por princípios técnico-científicos ou, ainda, poderíamos pensar que a racionalidade técnica e o saber disciplinar guiaram a composição da geometria. O estudante relata:

Quando eu faço a passagem do esboço para os componentes com forma, a gente pensa principalmente na questão estrutural, pois ele tem que resistir aos esforços aos quais ele vai ser submetido. Por exemplo, o BSP com barra redonda, nesse tipo de mecanismo, você submete a esforços em vários sentidos, não mais só o esforço do amortecedor. Quando você dá o grau de liberdade, você gera esforço ali do SL no meio do BSP, fica mais complexo, os esforços chegam em mais direções e a barra circular, ela tem uma propriedade que a resistência dela é igual para todas as direções que você

aplica o esforço. Em uma barra retangular por exemplo, dependendo da direção que você aplica a força, a resistência vai ser diferente (EST X).

Apesar do conhecimento do princípio básico de funcionamento do MET, baseado no saber disciplinar da Física - nos braços de alavanca e na dinâmica dos corpos -, não há uma heurística pronta para se chegar à forma da geometria, ao dimensionamento e ao arranjo da solução. Ao ser questionado se havia uma fórmula para a geometria, o estudante relata que o “dimensionamento foi no *feeling* mesmo, considerando as proporções das forças de tração e lateral e o espaço disponível para colocar as peças no carro” (EST X). Trata-se, portanto, de uma ponderação relativamente subjetiva – que faz sentido para o estudante -, elaborada a partir de informações objetivas imprecisas, como o fato de não saber de antemão a exata grandeza das forças atuantes nem a dimensão necessária dos braços de alavanca. Nesse momento, o estudante é exposto à incerteza, que o coloca em um campo de ação onde é necessário apostar em possibilidades razoáveis, baseando-se intuitivamente em experimentações, em avaliações de efeitos de variações em parâmetros - ângulos e comprimentos - e em aproximações quanto à forma. Segundo ele, isso se desdobrou em várias tentativas de versões:

O mecanismo de esterçamento não é usual, não se encontra na literatura equações definidas para descrever o comportamento, não se encontra pronto, tal distância, tal tamanho, as variações dos parâmetros e os efeitos das variações. O que se poderia fazer [seria] uma metodologia das forças que entram e saem num estudo de elementos de máquinas, mas o que se definiu foi os braços de alavanca, foi avaliando os efeitos, foi bem experimental (EST X).

Além de o mecanismo não ser usual e ser alocado sobre uma modalidade de suspensão multilink, a geometria ainda é singular, pois especificamente o MET faz a roda girar em torno de dois eixos teóricos *kingpin*, um alinhado aos pontos de fixação dos tirantes e outro no eixo formado pelos pontos de fixação do BSP na manga de eixo. Essa especificidade da geometria condiciona que “os dois eixos têm que ser paralelos, senão não funciona, a roda não conseguiria esterçar” (EST X).

O estudante se depara, então, com a questão das forças atuantes nos braços de alavanca e o conseqüente dimensionamento deles e revela preocupação e incerteza quanto à resposta: “eu cheguei mais ou menos numa relação de quanto deveria ser o braço de alavanca” (EST X). Mas, ainda assim, é compelido a tomar uma decisão baseado em estimativas imprecisas:

Foi bem estimativa ali, falar o carro pesa tanto, o coeficiente de atrito do pneu com o solo é aproximadamente X^{29} . Alguns testes que a gente já tinha, qual força que o solo é capaz de fazer, tinha teste de tração e eu sabia a ordem de grandeza, não ao certo, mas sabia da ordem de grandeza da força de tração e, no final das contas, qual que foi a minha conclusão né, [...] é esse braço aqui que é o que faz o mecanismo funcionar pela força lateral, a roda vai rotacionar neste eixo, então eu tenho um braço de alavanca de X mm que vai fazer o carro esterçar pro lado que eu quero e a força de tração, quando acelera o carro, vai fazer a roda voltar [para a posição]. Então, o que eu queria, esse *momento* gerado por este braço de alavanca, tinha que ser maior que esse outro, quando eu quisesse que a roda virasse. Então, o que eu fiz: eu coloquei, vou garantir que esse [o *mechanical trail*] vai ser maior que esse, então vou colocar o triplo [da medida]. Mas foi com aquelas estimativas que eu te disse das grandezas das forças que entram no carro. Mas é pra te falar a verdade também, foi [...] isso era um ponto que me preocupava; o carro foi fabricado e eu só soube realmente que ia funcionar depois que rodou com o carro. Mas eu tomei meus cuidados para garantir que ia funcionar, eu coloquei meu fator de segurança aqui [...] é aquele chute bem dado, chute com fundamento, o que seria o ideal seria a gente ter testes confiáveis com as forças que entram para eu saber qual [...] a partir de qual relação de braço de alavanca meu mecanismo iria funcionar. A gente tinha estimativas de forças, de atrito, a força lateral, tínhamos feito teste que mediu a aceleração lateral máxima que o veículo chegava, aí eu tinha ideia da força lateral que entra com o virar a massa do veículo. Com estas estimativas eu cheguei mais ou menos numa relação de quanto deveria ser o braço de alavanca, mas isso foi uma das coisas que me ajudou, eu coloquei um fator aí e só tive certeza depois que funcionou (EST X).

Antecipando uma possibilidade do funcionamento insatisfatório do mecanismo, o estudante aponta para a decisão e precaução de atribuir a um braço de alavanca (o formado pelo *scrubb radius*) um dimensionamento três vezes maior que o outro (o formado pelo *mechanical trail*). Segundo ele, essa seria uma condição garantidora da decisão intuitiva, mas, ainda assim, baseada em aproximações e estimativas frente à incerteza quanto à medida das forças atuantes, com seus *momentos* e *torques*³⁰ necessários ao movimento da roda. Quando questionado se saberia exatamente qual força entra nas rodas e aciona o mecanismo, ele revela:

Então, eu tinha algumas coisas definidas: os braços, raio do pneu definido. E, aí, alguns parâmetros eu defini arbitrariamente [...] porque não acho na literatura falando assim, pelo menos eu não achei, “olha, por exemplo, a distância entre os kingpins [a linha de fixação do bsp e dos tirantes]”, não acho na literatura falando: “se você aumentar a distância, vai acontecer isso”, “se inclinar a linha que une os pontos, vai acontecer isso”. Então, eu defini: colocava uma cota e ia testar; ia pra outro esboço, colocava pra variar o curso e olhava com esta configuração, com a suspensão comprimida, por exemplo,

²⁹ Por motivo de sigilo com as informações do projeto técnico, as medidas foram omitidas e substituídas por “X”.

³⁰ Momento significa a grandeza de uma força aplicada, sendo o torque o ápice de uma força transformada em movimento rotacional.

e ia mudando. Eu fui testando cada dimensão dessa que não era *goal* e fui tentando otimizar a geometria nestes pontos (EST. X).

Ou seja, a prática da modelagem - e de experimentação das condições nas quais o artefato técnico irá existir - implica em situações de indeterminação, nas quais o estudante é levado, de forma tanto intuitiva quanto racional, a se aproximar de uma escolha razoavelmente aceitável ou com probabilidade de acerto ou, ainda, de se aproximar de um desempenho considerado satisfatório esperado.

Com relação ao estabelecimento do grau máximo de esterçamento, o estudante se questiona: “o quanto é demais, o quanto é de menos?”. Nesse quesito, ele relata que houve um exercício comparativo e de ponderação entre referências de mecanismos similares já existentes no setor automobilístico e de conhecimento do que já funciona. Revela que também buscou informações em fóruns de discussão sobre mecânica específica para veículos baja, estabelecendo, assim, 10 graus para a inclinação da roda, além do espaço disponível e do estabelecimento de uma razão entre variáveis:

Foi uma questão de espaço disponível, preciso de espaço para manutenção do motor e CVT, para manutenção da suspensão, preciso fazer ele caber ali dentro, isso foi um parâmetro importante, outro foi o IR (*installation ratio*), a relação entre a variação [...] do comprimento do SL e a angulação da roda. Então, exemplo, eu defini que o ângulo de esterçamento seria X graus o máximo e uma variação do curso do SL, então a variação seria X mm, então eu teria uma relação linear, eu teria X grau de esterçamento por X mm de variação do curso do SL; é uma variação de forças, eu teria que ter uma rigidez de mola ali. Se eu passasse o curso de X para X, então, para X mm de variação de SL eu teria X grau de esterçamento, então precisaria de uma mola menos rígida, porque ela deformaria mais e faria uma força maior [...] é eu tô considerando uma mesma força para um mesmo *momento*, então a questão do curso que o SL teria que variar também influenciou, foi a definição da dimensão dele (EST X).

O dimensionamento do quanto a mola poderia estender para abrir a roda, considerando as propriedades de rigidez e elasticidade, foi outro momento de indeterminação que demandou a experimentação. O estudante relata que

[...] a rigidez da mola foi bem experimental, a mesma relação de forças que eu usei para definir os braços de alavanca vão influenciar na mola, vão atuar na roda. Esta mesma estimativa de forças ajudou a ter uma dimensão da rigidez da mola [...] comprou uma mola, testou e já compramos molas diferentes pra testar e ver qual seria melhor (EST X).

Nesse ponto, o estudante faz menção a testes experimentais reais de funcionamento feitos após a fabricação das peças e a montagem do mecanismo, ainda no chassi do protótipo anterior:

Uma coisa importante foi a viagem pra Viçosa, que o mecanismo foi testado no ML18 [o protótipo anterior] pra ver se funcionava mesmo, os componentes, os braços de alavanca, se a homocinética aguentava trabalhar nessa condição. Esse teste foi a virada de chave pra gente ter a segurança para definir que nosso carro ia ser desse jeito (EST X).

Apesar de não ter participado da fase inicial de modelagem do MET, o piloto pode dar seu feedback em relação à dirigibilidade e conforto de um veículo com esterçamento traseiro. Ele corroborou que o mecanismo havia mudado a dinâmica e a dirigibilidade do protótipo, deixando-o mais sensível em termos de manobrabilidade, ou seja, com relação à resposta que o veículo dá, efetuando curvas de forma mais rápida devido ao aumento da *taxa de guinada*,³¹ que eram os objetivos do MET. Nessa ocasião, foram testadas molas com diferentes coeficientes de rigidez, o que contribuiu para a escolha da especificação da rigidez da mola que seria usada. Segundo o estudante,

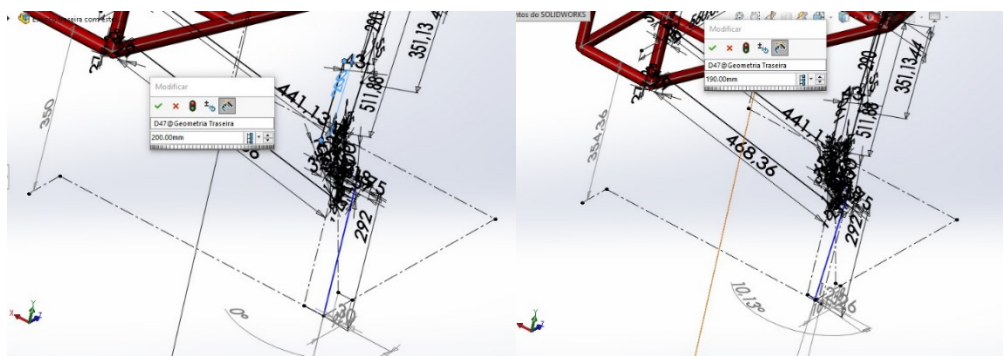
[...] a rigidez foi trocada [...] a menos rígida ficou melhor. Nesse nosso nível de competição é muita coisa experimental, muita coisa que não tem uma base de dados vasta pra se basear, então o feedback do piloto é muito importante [...] com a mola menos rígida, fica mais fácil da roda esterçar; então, para uma menor aceleração lateral, eu já vou ter o esterçamento da roda; se faço a curva devagar, a 10 km por hora, o mecanismo não entra em ação, porque a força não é suficiente para acionar ele. Agora, quando a 25 por hora fazendo a curva, aí sim [...] com a mola menos rígida poderia estar a 20 que já acionaria (EST. X).

Em relação à modelagem e às experimentações que ela permite, o estudante menciona questões práticas, como a necessidade do espaço disponível e da manutenibilidade - condições e possibilidade de se executar a manutenção -, tanto do próprio mecanismo quanto dos componentes do entorno (motor e CVT, por exemplo). Destacamos que a estratégia adotada na modelagem foi um híbrido entre experimentação de espaços disponíveis e possíveis composições e uma racionalização pela busca de uma relação entre variações de efeitos, a partir de combinações de parâmetros - como a mencionada *intallation ratio*, razão de instalação, que é uma proporção entre variações de parâmetros de suspensão -, relacionando o quanto uma mola

³¹ Taxa de guinada é a taxa medida pelo instrumento acelerômetro e relaciona quantos graus a roda vira por segundo.

comprime/descomprime e quanto uma roda se movimenta, fornecendo, assim, uma base para a escolha. Essa variação entre medidas e efeitos pode ser vista a seguir, nos dois desenhos da Figura 4, quando, ao simular a compressão - de 200mm para 190mm - da mola, projeta-se o deslocamento/esterçamento da roda em 10,13 graus.

FIGURA 4 - SIMULAÇÃO DE VARIAÇÃO MET



Fonte: Estudos de modelagem elaborados pelo Estudante X.

O estudante explica:

Nesse esboço, eu vejo a suspensão trabalhando e aí eu vou avaliando como seria o desempenho, mesmo que precariamente, da suspensão [...] eu vejo o quanto a roda subiu e quanto o amortecedor comprimiu, vejo quanto variou de camber, em função do quanto comprimiu a suspensão ou o quanto variou o esterçamento com a suspensão...eu fui aprendendo o que eu podia definir nesta fase do projeto... mudava os pontos e ia testando o desempenho [...] (EST X).

Nesse momento de estruturação da geometria geral e de seus parâmetros determinantes, o estudante põe em marcha o exercício da composição, nas várias versões que vai testando por tentativa, ou seja, ele vai experimentando as possibilidades, comparando-as e modelando as condições em que o objeto técnico irá existir; é um momento de ajustes ao que se pretende. Segundo ele,

[...] foi muito baseada em tentativa e erro, só que eu adotei uma estratégia. Primeiro fiz o esboço goals - ele não altera as dimensões, a altura livre, por exemplo, está fixada -, aí criava uma cópia e estabelecia cotas para os outros componentes. Primeiro o esboço goals, depois os acréscimos dos outros subcomponentes, eu determinava uma cota para dimensão das coisas que devem ser fixas [...] adotei a estratégia de fazer testes. Por exemplo, mudava a distância tal da altura de um ponto, aí testava, fazia 5 esboços, 5 tentativas, aí tinha uma planilha com os efeitos e aí ia ajustando as medidas para outras versões, para outros fatores. Se aumento o ganho de camber, altura livre, altura do roll center, bitola, aí, pra alcançar o que eu queria, teria que ir alterando alguns pontos [...] fui comparando as versões com as metas [...] dessas

versões, várias foram testes para ver as influências das alterações; algumas versões falharam. Se alguma coisa dava interferência, tinha que ir alterando. (EST X).

Passado esse primeiro momento de configuração, e mesmo concomitantemente a ele, ocorreram também as experimentações e ajustes relativos às interferências e incompatibilidades geométricas com as condições de contorno. À medida que o estudante ia agregando elementos, medidas e angulações, foram aparecendo interferências, como no caso da largura da bitola traseira - elemento alheio ao MET e vinculado ao chassi - e o conseqüente posicionamento da junta homocinética - vinculada ao subsistema *Powertrain* -, ambos com impacto no dimensionamento do *link*, elemento que faz a junção do SL na manga de eixo. Inicialmente, era uma meta da equipe reduzir a bitola e o estudante considerou almejar uma bitola menor, com cerca de 1000mm; ao final da modelagem, ela ficou com 1170mm. O problema detectado foi que, ao reduzir a medida da bitola, aumentavam os ganhos cinemáticos - ganhos de camber, convergência e divergência das rodas -, o que podia tornar o veículo direcionalmente mais instável e também exigiria mais da junta homocinética, que ficaria mais angulada, podendo acarretar desgaste e/ou ineficiência. O estudante argumentou que, apesar de a junta homocinética ser pivotante, articulada e que permitia angulações do semieixo (o componente que transmite o movimento rotacional que passa pela manga de eixo e chega à roda), há um limite para essa angulação: “[...] não posso inclinar 90 graus, tem um limite [...] então estávamos receosos de que isso acontecesse, de que ela fosse tão exigida a ponto de falhar. Isso foi mais um fator então: quanto menor a bitola, mais a homocinética iria ficar angulada e seria exigida” (EST X).

Nesse caso, uma bitola menor provocaria uma redução de espaço disponível para o posicionamento do SL e, para evitar que o SL esbarrasse e desgastasse a homocinética, ele optou por uma bitola maior, a fim de ter mais espaço de trabalho. Porém, o *link* - ponto de junção do SL com a manga - também precisou ser projetado mais longo, o que, mais tarde, se revelou como um ponto de tensão na junção, que passou a receber carregamento de forças atuantes indiretas que não são captadas pela análise estrutural. Portanto, a modelagem dessa peça também ocorreu por experimentação de formas, ajustes e aproximações, uma vez que, segundo o estudante,

[...] não tem referência, tal tamanho, tal distância. Avaliando as variações dos parâmetros, de geometria, eu fui avaliando os efeitos das mudanças dos parâmetros e cheguei na minha geometria que, por conta de prazo e por avaliar já estar satisfatório, a gente chegou na geometria final [do link] (EST X).

Ou seja, a escolha da bitola maior teve impacto no dimensionamento do *link*, tornando-o um ponto fraco, sujeito a trincas. A modelagem do *link* mais longo e com sua fixação/encaixes específicos na manga também evitou, por outro lado, a necessidade de alterar a geometria da manga de eixo, como o estudante relembra:

A geometria [do link] [...] essa peça, desde que o negócio começou a tomar forma, eu pensei “essa peça vai dar trabalho”, A geometria dela gera um braço de alavanca grande, numa região de pouco material da peça; tinha uma carga alta num lugar pequeno, concentra tensão e sabia que poderia falhar. Eu modelei a peça, fiz a análise estrutural, testamos no carro, fomos na competição com peça nova pra garantir que ela não estaria fatigada [...] eu não queria que o projeto todo mudasse em função dessa peça [link] [...] era longa pra não tocar na homocinética e no BSP, [...] a peça longa gera um braço de alavanca grande, gerando muita tensão na junção com a manga [...] [se a manga fosse remodelada] se fosse usinada, custaria mais de 200 reais (EST X).

Nesse momento, o estudante faz menção a uma restrição econômica do projeto: a opção por não alterar a geometria da manga, que teria como consequência a fabricação de uma nova peça - o que propiciaria a possibilidade da modelagem de um outro *link* mais robusto -, foi também por motivação econômica. Conforme o estudante responsável pela fabricação na fresadora apontou, “o material é caro, nosso dinheiro é pouco [...] fazemos prototipagem, 1 ou 2 peças, e não dá pra errar, só tem essas chances” (EST G). Assim, a manga não foi alterada e o *link* foi projetado longo, mas trincou durante a competição nacional de 2019, necessitando ser reprojetoado na segunda onda de desenvolvimento do MET, assim como a manga de eixo e o BSP, que também sofreram alterações em suas formas posteriormente.

Outro problema de interferência, embora não diretamente relacionado ao funcionamento do MET, foi o caso dos pontos de fixação dos tirantes no chassi, que precisaram ser repensados, ainda durante a modelagem inicial, pois esbarrariam no disco de freio. Esse problema nem chegou a ocorrer efetivamente, pois foi constatado ainda na fase de modelagem, em conversa com membros do subsistema Freios, o que permitiu que fossem ajustados durante a modelagem, ou seja, antes de serem fabricados.

A modelagem é um momento de organização dos elementos que compõem o artefato trabalhado, do espaço do entorno onde ele se encontra, bem como o momento de previsão das condições em que o objeto irá existir, dando forma a uma ideia em um artefato “finalizado”. Nesses processos da modelagem, de ajustes e aproximações na estruturação geral da geometria do MET, o estudante procedeu às adequações necessárias, pela estratégia da experimentação,

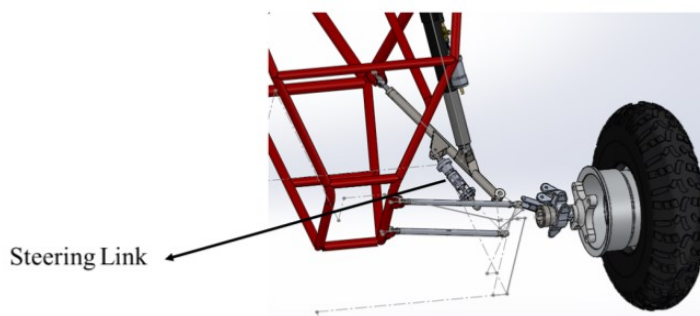
isto é, exploração de possibilidades, tentativas e ajustes. É perceptível que o reprojeito ocorreu mesmo durante a modelagem, com as revisões de ideias iniciais que mostraram-se inadequadas e insatisfatórias. É a partir dos ajustes e das incompatibilidades que ocorrem as adequações inerentes ao processo de modelagem, com a adequação de metas ao possível. O exercício da experimentação permite a adaptação, conferindo um sentido prático e funcionalidade ao objeto técnico.

Assim, no período de pouco menos de 6 meses, o projeto do MET foi desenvolvido - modelado, remodelado, fabricado, montado, testado e o estudante argumentou que, “por motivos de tempo, eu avaliei como satisfatório” (EST X). Após o teste de Viçosa, em novembro/2018, a data limite para a equipe entregar o Relatório Técnico do projeto do protótipo à competição nacional do ano seguinte era dezembro/2018. Portanto, houve uma pressão de cronograma e, de certa forma, uma condição de contorno externa, assim como aconteceu com os custos de se modelar uma geometria nova para a manga, em função de um novo *link*, peça considerada um ponto crítico em termos de desgaste. Mesmo após a entrega do relatório e da participação na competição, o projeto não para; ele continua com ciclos de aprimoramentos que serão modelados e projetados por outros estudantes, nos anos seguintes.

4.3.2 O caso da modelagem do *Steering Link* pneumático

A narrativa a seguir cobre o percurso de desenvolvimento de um novo projeto de um dos componentes do MET, o *Steering Link* (SL) pneumático. O SL é o componente que comporta uma mola que, articulada com outros componentes e a geometria geral do MET, ao receber forças atuantes, promove o deslocamento e a alteração da angulação e da direção de uma das rodas traseiras ao fazer curvas. Com o carro em linha reta, a força longitudinal atua descomprimindo a mola; nas curvas, o protótipo recebe a força lateral que comprime a mola e abre a angulação da roda traseira. Esse componente faz parte do MET do subsistema SUSPDIR (Suspensão e Direção) e, na Figura 5 podemos ver a localização do componente em sua primeira versão mecânica.

FIGURA 5 - SUBSISTEMA SUSPDIR E DETALHE DO STEERING LINK



Fonte: Projeto BAJA UFMG, elaborado pelo estudante X.

Como o primeiro SL era mecânico, ele comportava uma mola helicoidal de compressão; no novo projeto, o componente funciona a ar comprimido, um sistema pneumático que cumpre a função de “mola”. A primeira versão do SL mecânico, que foi para a competição nacional entre 12 e 15 de março de 2020, apresentou vários problemas relativos à manutenção, eficiência e confiabilidade, isto é, à capacidade estrutural do mecanismo de não falhar ou quebrar durante o uso, afetando sua funcionalidade, como:

- a fixação se deu em um ponto - localização das coordenadas espaciais - que levava a comportamento de abertura da angulação além do esperado;
- a dificuldade de aperto da contraporca para dar pré-carga na mola era feita com um parafuso para girar, o que deformava a rosca;
- a fixação da tampa da câmara principal desgastava e afrouxava, além de requerer, devido à sua geometria específica, uma ferramenta improvisada para o aperto;
- a tampa sextavada para o rosqueamento do olhal desgastava e o conjunto todo girava;
- a manutenção ou ajustes - alteração de rigidez de molas -, que eram feitos de acordo com as condições de terreno das provas na competição, implicava na desmontagem do componente, o que acarretava a desconfiguração e o desalinhamento das rodas, levando ao retrabalho do alinhamento do carro, além do custo dos pares de molas necessários para o ajuste da configuração do componente no mecanismo.

Após alcançar o 7º lugar na competição nacional, a equipe, como de praxe, realizou, em maio de 2020, a reunião de avaliação e *brainstorming* – virtualmente, devido ao período de isolamento social –, para repensar o projeto geral e apresentar soluções aos problemas e novas possibilidades de mudanças nos componentes do protótipo.

Considerando os problemas do SL mecânico, a decisão, conforme o estudante G, presidente à época, foi que a equipe reprojeteria uma versão do SL mecânico, buscando resolver os problemas detectados. Porém, o estudante Z apresentou a proposta e o primeiro esboço de uma modelagem do SL na versão pneumática, que havia preparado. Houve discussão, considerando vantagens e desvantagens de um e outro, e divergências, como aponta o presidente da equipe à época:

Eu mesmo sou a favor do mecânico, mas faz parte [...] eu não sou nem muito fã do MET, por mim não tinha, eu preferia um carro mais leve 10kg. Mas é um projeto bacana, um dos projetos mais legais que a gente tem e o pessoal gosta, então tudo bem [...]. Para mim, era melhor refinar o mecânico, só que o Z quis fazer e ele fez, e aí, como estava pronto, então não tinha como falar que não tinha sentido fazer o projeto [...] espero que dê certo [...] Se o projeto está pronto, não custa avaliar e tentar fazer [...] Então, foi assim [...] [...] é um projeto mais complexo, onde o projeto e a fabricação são mais refinados, as tolerâncias são mais apertadas, não pode vaziar o ar [...] depois do refinamento do projeto e fabricação e testes, se ele se mostrar melhor, será adotado [...] se ele for corretamente feito, ele traz vantagens. Eu posso não concordar, mas ele tem vantagens (EST G).

Para o estudante Z, que elaborou a modelagem, as vantagens eram a facilidade de manutenção; estruturalmente, o pneumático é mais simples, tem menos peças acopladas formando seu “corpo” e também a equipe não precisaria mais ter pares diferentes de molas para fazer a “setagem” (a configuração), que agora seria feita pela regulagem de pressão de ar. Isso possibilitava infinitos padrões de rigidez, apenas alterando pressão e colocando batentes internos; para mudar a rigidez na setagem, não precisariam desmontar o carro e perder o alinhamento. Nessa nova abordagem, o protótipo vai sempre estar com o mesmo alinhamento e a vedação é muito melhor que no antigo (entrava muita sujeira e dava folga entre os componentes). Outro motivo apontado pelo estudante Z para a proposição da mudança foi pelo

[...] aprendizado para a equipe, o porquê de estar fazendo, pra gente ter um *know how* aí de projeto de equipamento pneumático. Então é um ganho de conhecimento grande pra equipe projetar isso, entender as tolerâncias para o equipamento funcionar bem, entender os materiais que a gente precisa aplicar para ter o correto deslizamento, para ter a vedação correta, então, evolui bastante (EST Z).

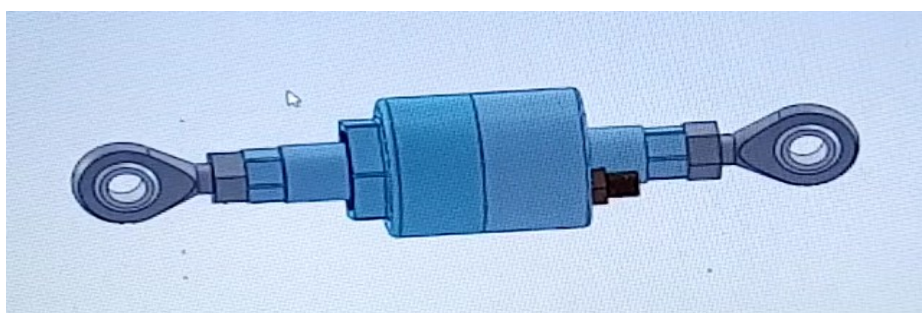
Segundo o estudante Z, inicialmente houve certa resistência à ideia por parte da equipe, pois “pode dar errado se for mal fabricado”. Mas como o SL pneumático apresentava mais vantagens que o mecânico, o estudante convenceu os membros dos benefícios de tal proposta e, na ocasião da reunião, decidiram que o projeto do pneumático seria desenvolvido em paralelo

ao projeto de melhoria do mecânico, para que, na volta das atividades presenciais na oficina, pudessem fabricar, testar e escolher o que seria posto no protótipo.

Questionado sobre como iniciou o esboço do SL pneumático no Solidworks (FIGURA 6), ele afirma que se inspirou em um outro componente do protótipo: o amortecedor do fabricante Fox. Por ser o estudante que cuidava de sua manutenção, conhecia seu funcionamento e viu semelhança da estrutura interna e funcionamento - dispositivo com curso de deslocamento longitudinal acionado por variação na pressão de ar interno - entre o amortecedor e o novo artefato. Mas, apesar da semelhança, trata-se de um componente novo, diferente do amortecedor que promove o movimento vertical das rodas, compensando irregularidades do solo e mantendo o veículo estável. Por sua vez, o SL recebe a atuação de forças que alteram a angulação de uma das rodas traseiras e a direção do protótipo, potencializando a performance ao executar curvas, ou seja, existe uma semelhança de estrutura entre o SL e o amortecedor, mas as funções são diferentes.

O princípio de funcionamento - forças atuantes que provocam um movimento e deslocamento de um corpo - era o mesmo do SL anterior, mas o método de acionamento mudou - agora era a ar - e, por isso, apareceram desafios, como a forma e disposição dos elementos que o constituem, principalmente a câmara interna de ar.

FIGURA 6 - PRIMEIRO ESBOÇO DO SL PNEUMÁTICO



Fonte: Projeto BAJA UFMG, estudo elaborado pelo estudante Z.

Nesse primeiro esboço, foi preciso pensar em uma cavidade - uma câmara interna - na qual o conjunto interno de haste-pistão, posicionado em um dos lados da câmara, ao receber uma carga, se movimentasse, comprimindo o ar atmosférico pressurizado injetado por uma válvula posicionada na outra metade da câmara. No SL anterior, a cavidade servia apenas para receber o deslocamento do pistão-haste acionado pela mola física externa e havia uma tampa enroscável para tal câmara que segurava todo o conjunto. Agora, com a subtração da mola física helicoidal, o estudante havia pensado em uma câmara formada por duas partes concêntricas

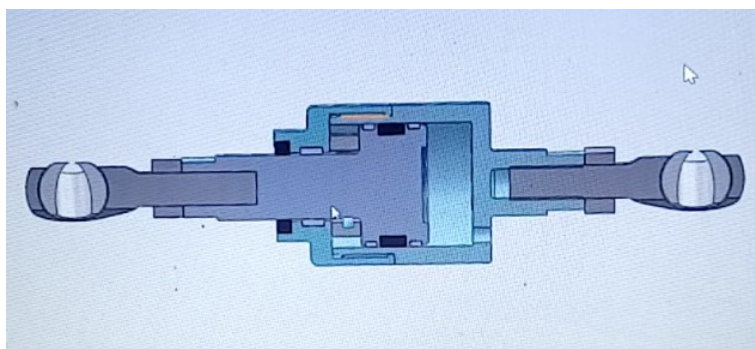
enroscáveis, formando a câmara hermeticamente vedada para conter o ar, e a desmontagem se daria somente por um único desrosqueamento, facilitando a manutenção, o que, antes, era necessário fazer em 4 seções de um mesmo conjunto.

Dando prosseguimento ao primeiro esboço, o conjunto pistão-haste agora seria inteiriço (Figura 7), o que constituiria um elemento mais robusto, pois o anterior era formado por duas peças acopladas. O estudante Z lembra que

[...] o elemento de vedação está no [próprio] pistão, nesta peça, lá dentro, ela é inteiriça, é ela que forma a câmara, a outra peça é só pra segurar tudo no lugar, então eu consigo fazer a vedação com a parte interna. Isso foi uma coisa que a gente pensou para eliminar problema, eu podia fazer ela partida no meio, seria mais simples com uma junção no meio, a rosca ficaria menor. Só que eu teria problema com uma junção no meio da câmara sem vedação, pode ser que vazasse ar, então desloquei essa junção pra trás, no final da câmara [...] a gente queria ter uma ideia de como seria, se seria viável fabricar (EST Z).

O estudante reflete sobre o desenho e a disposição dos elementos com que trabalha e sobre o possível problema do vazamento de ar. O que ele argumenta no excerto acima é que a junção das duas partes da câmara não se daria no meio exato - como havia pensado inicialmente, no primeiro esboço, com câmaras concêntricas -, mas na parte de trás de uma das partes, como podemos ver na Figura 7. Então, em uma das partes há um prolongamento - a seção da rosca ficou mais longa -, terminando no final da outra parte da câmara, formando um “copo”, mas a rosca que existe nas duas partes vai até o meio do conjunto, atribuindo melhor rigidez e vedação. Ainda na modelagem, o estudante já se mostra preocupado com a viabilidade da fabricação, da capacidade de fabricação própria, pois essa é uma preocupação da equipe, tendo em vista restrições tanto da disponibilidade de equipamentos na oficina quanto de recursos materiais e financeiros.

FIGURA 7 - SEGUNDO ESBOÇO DO SL PNEUMÁTICO VISTA SECCIONADA



Fonte: Projeto BAJA UFMG, estudo elaborado pelo estudante Z.

Questionado sobre como chegou a essa forma, o estudante relata:

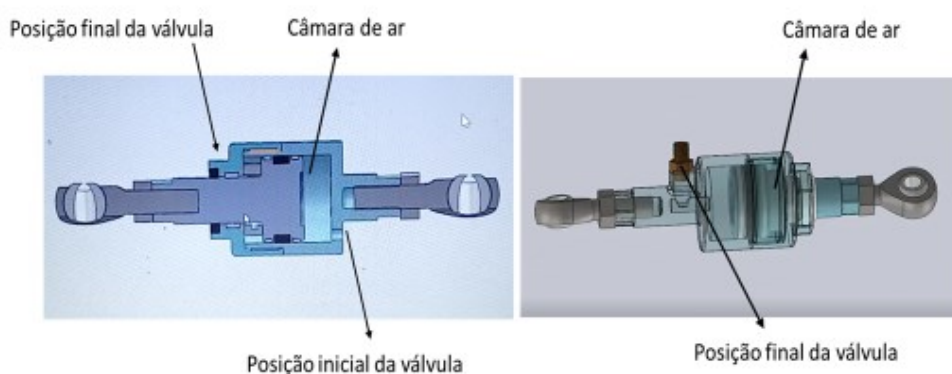
Tentei ser o mais simples possível no primeiro modelo, é um modelo de visualização para ver como ficaria esteticamente e o que eu poderia tirar de ideia quando eu modelasse ele [...] é uma coisa que eu faço quando eu projeto, mesmo eu não tendo as dimensões, eu faço alguma coisa que eu imagino próximo da realidade, só pra ter uma ideia, algum possível problema, coisas pra melhorar que eu possa encontrar para quando tiver as dimensões necessárias e ir e projetar com mais velocidade e fabricar. Então, estas dimensões aqui foram arbitrárias, eu pensei algo que poderia ser ali, eu tentei replicar o Fox; esse diâmetro é próximo do pistão da mola pneumática do Fox, é só um exemplo mesmo. O curso estendido e comprimido foi um curso que a gente conseguiu como ideal na setagem do mecânico (EST Z).

Mesmo mencionando que o primeiro esboço é um modelo simples de visualização, a modelagem e a atividade do design já estão em marcha; o estudante percorre um processo de construção de representação e exploração das primeiras ideias, na tentativa de antecipar possibilidades. Nesse sentido, conjectura, imagina, ao passo que escolhe e combina informações objetivas de que dispõe - como o curso da haste do modelo anterior -, com o uso de pensamento analógico, pois se inspirou em outra peça, o próprio amortecedor da suspensão do protótipo. A partir desses dois primeiros esboços modelados, representando uma aproximação ao real e ao possível, iniciou-se um processo de refinamento da ideia com seus desdobramentos; o problema enfrentado pelo estudante nessa modelagem passa a ser o de descobrir as características e a melhor forma do objeto. Como certas informações não estavam disponíveis de antemão, o estudante se deparou com elementos desconhecidos que precisariam ser determinados, como a configuração e as dimensões da estrutura do artefato, bem como adaptações e aproximações a uma forma satisfatória. Ele passa, então, para outro momento da modelagem, quando busca modelar e decidir sobre o comprimento da haste-pistão e seu curso de deslocamento, a localização da válvula de entrada de ar, o volume de ar comprimido necessário para o funcionamento, o dimensionamento da câmara, a escolha dos elementos de vedação etc. Quanto ao dimensionamento da haste-pistão e seu curso de deslocamento, o estudante lembra que baseou-se, inicialmente, em parâmetros e performance do SL mecânico anterior, utilizando-o como base de conhecimento para a transição ao pneumático:

Com X mm de curso, dá mais de X graus [de esterçamento], por isso que a gente achou o ponto ideal de X mm de curso pra ter X a X graus de esterçamento na roda. Isso é mais que suficiente, ele estava até virando [o SL anterior] em excesso e prejudicando o desempenho; esse pouquinho de deslocamento é suficiente (EST Z).

Porém, essa transição não se deu de forma tão simples; já no primeiro esboço, ele percebeu um problema com a localização do bico da válvula de entrada de ar, que encontrava-se na face traseira de um dos lados da câmara, na parte contrária ao conjunto pistão-haste, e muito rente à parede da haste, o que causaria dificuldade de fixação e aperto (Figura 6 acima). Assim, por um *feedback* do estudante G, responsável pela fabricação de peças, tal localização da válvula foi reposicionada, como podemos ver na FIGURA 8.

FIGURA 8 – ESBOÇO DO SL E LOCALIZAÇÃO DA VÁLVULA DE AR



Fonte: Projeto BAJA UFMG, elaboração do estudante Z.

Na modelagem, o estudante vai, então, efetuando adaptações mais práticas – no caso, facilidade de fixação - e funcionais ao longo do percurso de construção da solução. Agora, segundo ele, a válvula estaria ancorada em um ressalto no corpo da peça, pois

[...] o bico da válvula era posicionado na face [da câmara] e estava dando interferência com o próprio componente e, então, mudei ele de lugar. Agora tem que fazer um furo aqui e um por dentro para poder afastar, [agora] ele ficou num lugar que é fabricável; para isso, precisou desse ressalto. Vai ter que ser usinado, mas resolveu o problema, foi uma boa solução que a gente teve (EST Z).

Porém, o problema quanto ao design da câmara interna e seu dimensionamento foi o de maior preocupação para o estudante, pois ele não conhecia suas especificações. A câmara é o invólucro do ar e o volume útil de ar comprimido adequado é crucial para o funcionamento, sendo que tal característica afetaria a forma e a estrutura interna do artefato. Inicialmente, o dimensionamento da câmara estava com o mesmo diâmetro da câmara do amortecedor e, daí, surgiu a questão de saber o tamanho útil da câmara e, novamente, surge a questão da força

necessária e a pressão interna do ar para acionar a mola pneumática. Questionado sobre como resolveu tais problemas e prosseguiu com o processo da modelagem, Z lembra:

Está vendo estas buchas e anéis de teflon? Só que mesmo com estes anéis, a câmara estava com a mesma dimensão antiga, a dimensão que eu tinha imaginado que seria adequada. Só que aí eu comecei a pensar qual força eu quero que o SL aplique nos componentes para o carro ter um comportamento bom. Aí pegamos a melhor mola que mostrou o melhor comportamento durante os testes [do SL mecânico], pegamos o coeficiente de elasticidade, de rigidez e modelamos uma curva [modelagem matemática], uma reta que mostra o comportamento da mola [...] Aí, a partir disso, eu fiz um modelo [equação matemática relacionando as variáveis] da mola pneumática, onde eu fazia variar os parâmetros para chegar numa dimensão ideal [...] é um modelo [...] Basicamente, eu peguei as dimensões que eu vou ter e fiz um cálculo, com as dimensões de como ele entregasse a força que está chegando e mostrasse um gráfico da efetividade [...] da força por deslocamento e comparei com a mola helicoidal (EST Z).

Ou seja, o dimensionamento ou a elaboração da forma da câmara - em termos de área interna e volume de ar necessário - foi condicionada a fatores técnicos e por princípios da Física (Pneumática e Termodinâmica), relacionando as variáveis envolvidas na configuração da câmara. Diferente do primeiro MET e do primeiro SL mecânico, onde a força necessária ao funcionamento foi estimada envolvendo incertezas e aproximações, nessa modelagem do SL pneumático, para chegar aos valores de dimensionamento da forma da câmara, o estudante utilizou e construiu um modelo matemático por meio de uma equação, relacionando variáveis de pressão de ar, força aplicada e o curso de deslocamento do conjunto pistão-haste pela compressão/descompressão do ar interno, como vemos na FIGURA 9:

FIGURA 9 – MODELAGEM MATEMÁTICA, CÂMARA DE AR STEERING LINK PNEUMÁTICO



Fonte: Projeto BAJA UFMG, elaboração do estudante Z.

Portanto, o estudante Z construiu uma representação do comportamento do SL a partir de variáveis (pressão, diâmetro e área do êmbolo, curso da haste-pistão, comprimento do cilindro, volume de batentes, força necessária) e, comparando e aproximando com dados do SL anterior - tanto referentes à especificação quanto à performance -, pôde tomar decisões de design. Ele diz:

A gente tentou chegar bem próximo possível [do comportamento do SL mecânico anterior] e ainda deixar uma margem de ajuste para cima e pra baixo, pra gente conseguir mudar a pressão da mola [...] O modelo, eu fiz logo no início, quando percebi que eu precisava descobrir as dimensões do êmbolo, do diâmetro, da mola, da pressão inicial, o comprimento do curso dele, que vai ser [...] ³² mm, volume do batente de nylon pra controlar o curso máximo e mínimo (EST Z).

Assim, por meio da manipulação dos valores das variáveis envolvidas, o estudante alega:

Consegui determinar o volume da câmara [...] e consegui ter a pressão para cada valor de compressão, e, com a pressão, eu tinha a força também, que era o que a gente precisava saber [...] tínhamos os dados da mola mecânica e comparamos as duas curvas [...] qual nosso objetivo? Pegar o range de atuação e tentar replicar proximamente aqui [...] aí, cheguei no diâmetro ideal do êmbolo, que seria [...] mm (EST Z).

Nesse ponto da modelagem, o diâmetro do êmbolo se revelou problemático, visto que o diâmetro da câmara estava com mais que o dobro da medida ideal calculada para o êmbolo, ou seja, o êmbolo não se encaixaria na câmara.

Aí eu comecei a pensar eu tenho que diminuir muito o diâmetro da câmara, aí ela ficava menor que o diâmetro da haste, então não tinha como eu prender isso aqui, não ia funcionar, porque, se esse diâmetro é menor que esse, ele vai sair por aqui [...] e ele não ia funcionar, um diâmetro ia ser menor que outro e a única coisa que impede a haste de sair é essa tampa que tem um diâmetro menor que esse [...] aí vem a terceira versão, que [...] eu não sei como que isso surgiu na minha cabeça. Um dia que eu estava pensando, mas eu falei [...] ah vou esperar a inspiração vir, e aí, do nada, eu tive a ideia de mudar completamente a fixação aí (EST Z).

A mudança que o estudante propôs foi um reposicionamento da câmara; agora a cavidade dela ficaria interna, embutida no corpo da própria haste, posicionada contrariamente

³² Por motivo de sigilo de projeto técnico, as medidas foram omitidas.

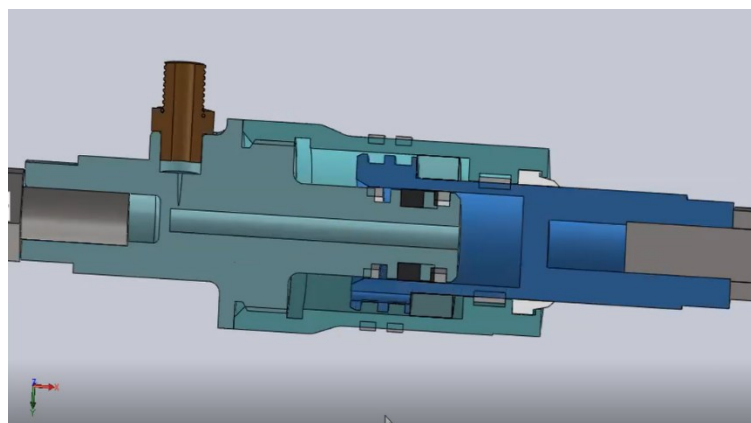
à posição inicialmente pensada para o pistão/êmbolo, que se adaptaria à dimensão necessária de diâmetro da câmara.

A ideia foi bem espontânea assim, eu mudei algumas coisas, eu consegui fazer uma coisa bacana aqui, eu inverti a câmara de lugar, agora ele está muito mais próximo do diâmetro correto. Lembra que eu tinha esta haste aqui e ela era o que fazia o papel de êmbolo? Só que aqui ela não faz mais o papel de êmbolo, só que agora eu passei a câmara para dentro dela e adicionei uma haste, um pistão partindo de onde era a tampa [...] agora a câmara é dentro, com [...] mm (EST Z).

Na Figura 10, podemos ver o reposicionamento da câmara embutida no interior da haste. Segundo o estudante Z, o que o inspirou foi o mecanismo como o que existe em bicicletas, o que revela, mais uma vez, o uso do pensamento analógico, que se baseia em semelhanças e aproximações de objetos, problemas ou fenômenos com características aplicáveis de um campo ou área de domínio em outro.

O que eu lembro é que eu pensei mais ou menos no amortecedor de bicicleta traseiro, que tem um conjunto mola/amortecedor, só que ele é o contrário, tem um amortecedor e a mola pneumática dele fica por fora. Esse aqui é o contrário, eu nunca vi nada, por exemplo, com duas camadas concêntricas com uma mola pneumática por dentro. Foi bem na hora mesmo que eu pensei [...] ah, vou inverter isso e ver como fica. Aí deu certo (EST Z).

FIGURA 10 - TERCEIRO ESBOÇO COM CÂMARA EMBUTIDA NA HASTE



Fonte: Esboço elaborado pelo estudante.

Porém, a nova configuração da câmara, apesar de ter sido uma mudança necessária, passou a ser condição de contorno para a modelagem de uma solução para um novo problema que emergiu: o de como inserir o ar na câmara, que agora estava no interior da haste/êmbolo. Para tanto, o estudante pensou em um canal atrelado à válvula, passando por dentro da haste e

chegando até o interior da câmara, como se vê na Figura 10. Como consequência, o espaço desse canal aumentava o volume útil de ar comprimido, desconfigurando o cálculo previamente feito. Por isso, para evitar um redimensionamento da câmara, ele propôs preencher esse espaço: “vamos fabricar alguns tubos bem finos, de nylon, para inserir aqui dentro como batente para diminuir o volume útil. Não vai impactar o comportamento da câmara, da mola” (EST Z). Ou seja, essa solução, pensada como outras em outros momentos da modelagem, se condiciona e se adapta ao que é possível elaborar, dadas as condições de contorno, e não comprometendo o funcionamento desejado do artefato modelado.

A modelagem do artefato implicava, ainda, a escolha de elementos complementares de vedação e raspadores, que foram condicionados à seleção de fabricantes que atendessem às especificações quanto a dimensões e aplicação, à consideração de recursos financeiros para a aquisição dos materiais, bem como à capacidade de fabricação própria de tais elementos.

Esse raspador, por exemplo, já é utilizado em vários equipamentos, escavadeiras, hastes hidráulicas, sempre tem. Tem que comprar as gaxetas, porque são fabricadas em borracha [...] esses componentes de deslizamento para centrar a peça, ele pode ser comprado, mas é mais barato se for usinado na oficina, é de teflon [...] isso é um anel de teflon; a gente compra um tarugo e, usinando, é mais barato do que comprar pronto (EST Z).

Assim, transcorrido esse percurso de modelagens e de aproximações quanto à forma mais satisfatória para o funcionamento do SL pneumático, o estudante considera modelado o artefato, restando a fabricação e testes, que estariam condicionados tanto ao retorno das atividades no período pós-isolamento social e acesso à oficina quanto à disponibilidade de tempo necessário para fabricação e ao cronograma da competição. Questionado sobre quanto tempo durou a atividade da modelagem e se havia partilhado com a equipe durante o trabalho, o estudante relata que levou cerca de 3 (três) semanas em um trabalho feito de forma individual, mas que, durante o processo de modelagem, havia encaminhado desenhos ao estudante G, para que ele desse um *feedback* com relação à manufaturabilidade:

Ele me deu boas sugestões ao longo do processo, mas a maioria eu que fui fazendo em casa mesmo, vendo o que tinha de problema. Eu ajudei a fazer o anterior, então todos os problemas que aconteceram na fabricação eu estava presente, então já deu pra eliminar bastante coisa no processo. Tiveram coisas que eu não vi, mas o G me ajudou a resolver (EST Z).

O estudante G, por sua vez, relata que, de forma geral, sua contribuição na modelagem foi referente à manufacturabilidade dos componentes do artefato, no que diz respeito à usinagem, como bordas, encaixes, vedações e outros detalhes, como ele destaca no excerto abaixo:

Considero que a adição de duas pistas concêntricas deslizantes foi uma ótima adição, resolve meu principal medo, que era que folgas começassem a surgir muito rapidamente [...] o furo da Figura 10 me preocupa bastante, ele possui [...]mm de diâmetro de [...]mm de comprimento. Quando se trata de usinagem, esse tipo de furo chama 30xD (30 vezes o diâmetro), isso só é possível ser feito com brocas canhão de metal duro, caríssimas, que nem são possíveis de usar nas nossas máquinas porque precisam de fluido interno [...] sugiro a utilização de furo de, no máximo, 10xD [...] O ressalto [previsto inicialmente para a válvula] não é fabricável sem um centro de usinagem de 4 eixos, sugiro que o diâmetro da região toda seja aumentado e apenas um rebaixo seja usinado no local onde o furo será feito [...] sugiro a adição de filetes nos locais indicados na Figura X [...] pode ser interessante adicionar um o-ring no local marcado na Figura 10, já que água pode entrar por ali e, no caso de falha dos anéis da câmara principal, pelo menos é possível aumentar a pressão e continuar rodando, usando as duas câmaras como se fossem uma só [...] Não entendi a função da região plana da Figura X, se a intenção for usar isso como um local para posicionar uma chave, sugiro que aumente bastante a largura das regiões planas; como está atualmente, elas vão escoar no primeiro uso. Em uma porca normal (hexágono) a relação *Distância entre arestas x Largura da aresta* = 1,73; na sua modelagem, essa relação é de 8,64. Tenta diminuir isso o máximo possível para melhorar a vida útil da peça (EST G).

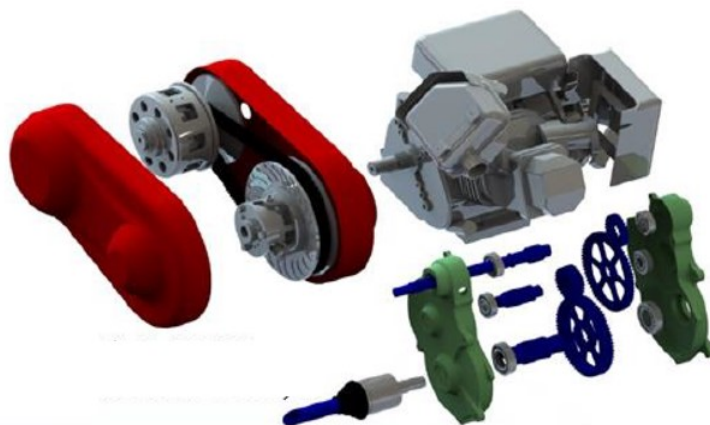
Dentre essas contribuições, destaca-se a questão apontada para a razão diâmetro versus comprimento do orifício condutor do ar até a câmara, para o qual o estudante G aponta uma possível dificuldade de fabricação própria, devido à indisponibilidade de maquinário na oficina. Assim, tanto a questão do dimensionamento do orifício - sujeito a ajustes posteriores no projeto - quanto a decisão da fabricação própria ou encomendada ficaram a ser definidas posteriormente pela equipe. Com o *feedback* do estudante G e ajustes na modelagem - com a ressalva da relação diâmetro x comprimento do orifício condutor de ar apontada - em termos de dimensionamentos estruturais e na manufacturabilidade dos componentes, o artefato foi, passo a passo, progredindo em sua forma. O estudante foi adaptando soluções para os problemas que iam ocorrendo no percurso da modelagem, condicionando a forma modelada às condições de contorno, que se apresentam como um campo de restrições com as quais ele trabalha. Assim, a modelagem foi se aproximando das medidas e características necessárias - que foram sendo descobertas pelo estudante no percurso -, para o funcionamento conforme desejado. Na verdade, não havia uma forma definitiva desejada, pois o artefato não estava determinado de início; havia, sim, uma forma vislumbrada. Então foi algo que foi tomando a forma do razoável e aceitável, do ponto de vista funcional, ou seja, a modelagem da forma do artefato se desenvolveu,

fundamentalmente, pelo exercício de adaptação da primeira ideia vislumbrada à funcionalidade desejada. Mas o estudante sabe que, “quando os testes acontecerem, vai ter alguns problemas, aí a gente altera o necessário” (EST Z).

4.3.3 Sobre o desenvolvimento e modelagem do mecanismo da Transmissão Continuada Variável, a CVT (Continuous Variable Transmission)

O *Powertrain* é o sistema técnico constituído de mecanismos e componentes, cuja função é realizar o trabalho mecânico de colocar o protótipo em movimento, por meio de um sistema de transmissão do movimento rotacional gerado pelo motor - torque e velocidade - para as rodas. Além do motor, o *Powertrain* compreende, ainda, a caixa de engrenagens, o mecanismo da CVT e outros componentes, como eixos e junta homocinética, rodas, sistema de admissão de combustível e refrigeração. Uma imagem dos principais componentes desse sistema pode ser vista na figura abaixo (em cinza claro, o motor; em vermelho, a CVT; em verde, a caixa de engrenagens).

FIGURA 11 - CVT GAGED GX9 DE 2015, MOTOR E CAIXA DE ENGRENAGENS



Fonte: Relatório BAJA 2015

A CVT é o mecanismo que funciona como um câmbio de marchas, produzindo variações em termos de potência (potência = torque x rotações por minuto), de forma contínua, durante o deslocamento do protótipo. Tal mecanismo comporta um conjunto de polias móveis (polia motora ligada ao motor e polia movida ligada à caixa de engrenagens), interligadas por uma correia, e também outros componentes, como roletes, molas, rampa, contrapesos, parafusos, chavetas etc. O funcionamento da CVT ocorre a partir da variação da força rotacional do motor e seu efeito centrífugo, que causa uma compressão ou descompressão entre as faces

cônicas da polia³³ motora e, conseqüentemente, esse movimento causa uma variação na superfície de contato por onde corre a correia interna, o que é equivalente a uma variação de diâmetro da polia. Esse deslocamento gera infinitas combinações, com a alteração de diâmetro também sofrida na polia movida³⁴ em uma transmissão variável contínua de rotação e torque³⁵ do motor para outro mecanismo: a caixa de engrenagens. Como passo final, a caixa de engrenagens, por meio de eixos, transmite o movimento e as variações de torque do motor e velocidade para as rodas do veículo.

Em 2015, quando participou da competição internacional nos Estados Unidos, a equipe percebeu que outras equipes projetavam as próprias CVT e, por isso, desejou projetar a sua própria versão. Naquela época, era utilizada a CVT Gaged GX9 que, por ser um modelo comprado, apresentava especificações fixas, com range/faixas de atuação da transmissão - torque e velocidade - definidas e que, além de ser superdimensionada (tamanho e peso),³⁶ não atendia ao desempenho desejado do protótipo em termos de velocidade em 100 metros, tempo de aceleração em 30 metros e manutenibilidade.

Fazer um projeto próprio de CVT significaria uma independência da equipe, que não teria mais que utilizar um modelo comercial com especificações inadequadas às necessidades e singularidades do protótipo, ao passo que poderiam produzi-la com menor peso e com um menor custo financeiro. Segundo o estudante J, que ficou responsável pela modelagem da CVT PR7-03³⁷ de 2018,

[...] os veteranos que começaram, acho que teve uma combinação de vontade de evolução, de inovação e de crescimento pessoal. Apesar de ser um trabalho altruísta, tem a parte de desenvolvimento pessoal, um desafio pessoal, vê o

³³ Cada polia é formada por dois “pratos”, cada um com uma das faces cônicas, viradas uma para outra; em uma das faces não cônicas das polias, são acoplados rodízios, rampas e contrapesos, que permitem a polia se movimentar.

³⁴ Polia movida - mecanismo equivalente a uma engrenagem pequena e uma grande. Se uma das polias fecha, a correia desliza e sobe de posição, perfazendo um diâmetro maior, e a segunda polia diminui ou vice-versa.

³⁵ Existe uma relação/proporção da transmissão de torque da polia motora para a velocidade percebida na polia movida que diz respeito à variação dos diâmetros. Quando as duas polias estão trabalhando com o mesmo diâmetro, a relação de transmissão de torque é 1:1 e a velocidade percebida na movida é a mesma da motora (1:1), isto é, o mesmo giro da motora é performado na movida. Se o diâmetro da motora é menor e o da movida é maior, a relação da transmissão é maior (>1:1), porque demora-se mais tempo para completar uma volta na polia movida e a velocidade de rotação fica menor. Se o diâmetro da motora é maior e o da movida menor, a relação de transmissão é menor (<1:1) e a velocidade de rotação percebida na movida será maior.

³⁶ O diâmetro e a massa das polias são variáveis, afetam a “força” centrífuga e influenciam na velocidade final transmitida, assim como na relação entre as engrenagens da caixa de engrenagens.

³⁷ A denominação atribuída às versões da CVT recebeu esta sigla PR7 em referência aos estudantes que primeiro desenvolveram a versão própria da equipe, sendo P de Pedro, R de Rafaela e 7 (do estudante cujo apelido era “Sete”).

desafio e a gente consegue[...] A primeira versão demorou de uma competição pra outra, voltamos em maio [2015] e em setembro tinha terminado (EST J).

Assim, foi construída a versão PR7-01 para a competição de 2016, objetivando o aprimoramento do protótipo. Segundo o estudante J, aquela primeira versão

[...] foi muito crua e arriscada, embasou em *benchmark* de coisa que funciona, a engenharia não é totalmente criativa, [a polia motora] a gente baseou na [fabricante] Gaged, porque ela permitia a mudança de parâmetro, de peso, de mola, era mais fácil de fabricar[...] e a [polia] movida a gente se baseou em outro fabricante [Comet], porque ele tinha funcionamento que a gente desejava, o tamanho e a abertura dos pratos [polias][...] pegou o que você mais gosta desse e o que mais gosta do outro [...] Só que ela era muito baseada na venda comercialmente, por isso não tinha tanta ousadia; você copiava e sabia que dava certo. Então, a primeira nem foi calculada, ninguém fez verificação estrutural nem nada, aí [em 2018] que a gente começou a fazer, porque precisava (EST J).

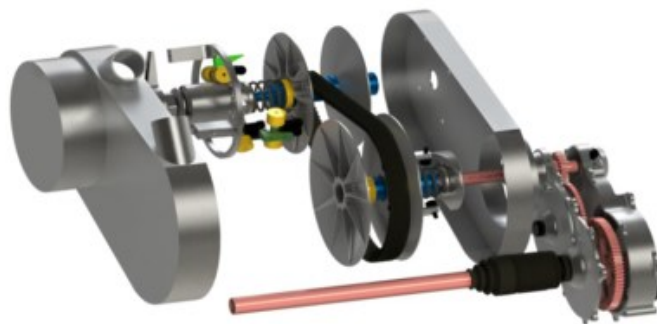
Refletindo sobre a PR7-01, o estudante reconhece que foi um híbrido baseado em modelos comerciais e que, na primeira versão, não houve a preocupação de realizar o cálculo estrutural das peças projetadas - o que, na engenharia, é fundamental e subsidia a tomada de decisões quanto à forma de objetos técnicos, considerando a sua estrutura, confiabilidade e durabilidade. Mas, a partir de 2018, “começa a ter uma característica própria, uma identidade, porque ninguém faz parecido”, ou seja, com a modelagem, os componentes e o mecanismo vão se tornando cada vez mais singulares. Após a construção da PR7-01, também foi feita a PR7-02, em 2017; como o próprio relatório da equipe menciona, manteve-se o projeto anterior, mas a equipe tinha como principal objetivo os ajustes de configuração de componentes auxiliares - como pré-carga da mola da polia movida, rigidez da mola de compressão da polia motora, massa dos contrapesos e mudança de material das rampas dos contrapesos -, a fim de alcançar melhor performance com a redução da inércia rotacional,³⁸ o que afeta a velocidade e o tempo de aceleração.

No ano seguinte, a CVT passou por um reprojeto, que compreendeu um percurso de desenvolvimento e modelagem da mudança de versão da PR7-02 usada em 2017 para a versão PR7-03 de 2018 (FIGURA 12), quando houve uma remodelagem da forma geométrica de

³⁸ Inércia rotacional ou momento de inércia é uma medida de cinemática - estudo do movimento dos corpos na Física - e depende de como uma massa em rotação está distribuída pelo corpo; é dada pela fórmula $I=mr^2$ (massa x raio) e é uma propriedade de objetos que possam ser girados. É um valor escalar significando o quão difícil é alterar a velocidade de rotação do objeto em torno de um eixo.

peças, amparada em Cálculo Estrutural e no Método de Elementos Finitos (MEF)³⁹ buscando seu aprimoramento por uma melhor adaptação e otimização do mecanismo e de seus componentes e estruturas.

FIGURA 12 - CVT PR7-03 de 2018



Fonte: Relatório Equipe Baja 2018.

Objetivando a melhoria de desempenho do veículo em termos de velocidade, os estudantes buscaram, primordialmente, reduzir a massa do mecanismo, uma vez que ela afeta sobremaneira a inércia rotacional. Assim, buscaram adequar o mecanismo às necessidades específicas do protótipo, pois uma nova CVT com uma forma geométrica otimizada, em conjunto com outras especificações customizadas - configurações de parâmetros, como contrapesos, coeficientes de molas, refrigeração da CVT e relação de engrenagens da caixa de engrenagens -, permitiria a diminuição da inércia rotacional. Para isso, seriam feitas alterações no range de reduções possíveis, promovido pela combinação do efeito das polias da CVT sobre engrenagens internas - na caixa de engrenagens e reduções -, que efetivamente transmitem o movimento e suas variações para as rodas do protótipo.

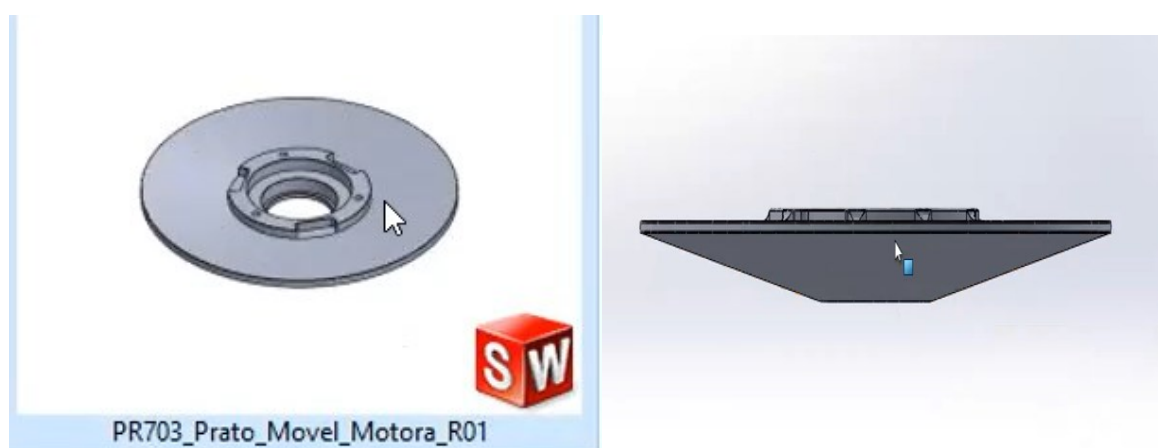
Uma nova CVT não estava determinada em suas especificações e precisariam ser determinadas durante a modelagem, ganhando uma identidade própria, ao passo que iriam se adequando a restrições presentes ao longo do percurso de seu desenvolvimento. Para tanto, o estudante buscou remodelar a forma geométrica de componentes e iniciou a modelagem pelas polias da CVT, anteriormente muito pesadas. Perguntado por onde começou, o estudante J relata que partiram do conhecimento existente, ou seja, da PR7-02, que ainda era baseada no modelo comprado da fabricante Gaged. Mas também se orientaram pelos objetivos desejados

³⁹ Método de cálculo por meio de equações diferenciais, que consiste em relacionar, discretizar e analisar vários elementos de um sistema, de um fenômeno ou de uma área referente a uma estrutura, visando a verificar o efeito de aplicação de cargas, tensionamentos e seus deslocamentos no material utilizado, fornecendo respostas sobre a estrutura ou fenômeno que está em estudo.

para a nova, então “fui pro *Solid* pra fazer um esboço básico de como que eu queria que elas fossem” (EST J).

O primeiro esboço para a primeira polia - a polia motora, na versão R01 (Renderização 01)⁴⁰ - mostrado na FIGURA 13, era constituído por peça circular de metal grossa e pesada e, para modificá-la, o estudante argumenta que baseou-se no conceito de eficiência em termos de desempenho por massa. Ou seja, cumprindo a função, poderia ser leve, precisando de menos força para fechar e abrir o conjunto de polias; era preferível um componente leve a um pesado, e a polia da versão R01 pesava 552 gramas.

FIGURA 13 - POLIA MOTORA CVT PR7-03 R01, FRENTE E SEÇÃO



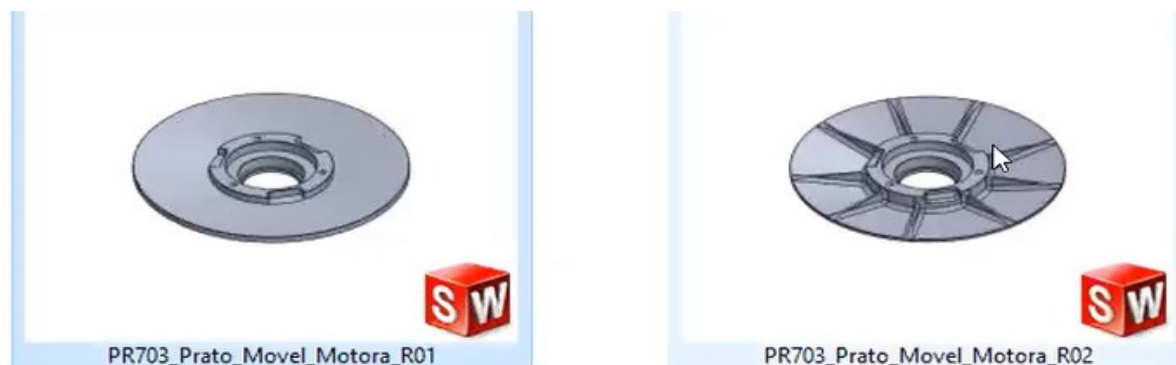
Fonte: Estudos de modelagem feitos pelo estudante J.

Assim, foi efetuada uma busca por áreas da peça de onde poderia ser retirado material e, para tanto, o procedimento relativo a alterações da forma foi conjugado com a modelagem matemática dos estudos de Cálculo Estrutural - método de elementos finitos -, para localizar pontos críticos onde o material poderia receber tensões de carga, rompendo, trincando ou se deformando; o que está diretamente relacionadas à segurança e confiabilidade do componente (em não se danificar), para que ele pudesse cumprir sua função e, mais importante, garantir a segurança do piloto/usuário do protótipo. O estudante J ressalta o trabalho conjunto com o estudante M do subsistema Cálculo Estrutural: “eu ficava focado na forma e o M fazia o cálculo estrutural [...] ele analisava e me dava *feedback*, é assim que a gente faz. Sem ele isso aqui não saía, não” (EST J). Inicialmente, J pensou que poderia retirar e reduzir material da placa, tornando-a bem mais fina, porém, para manter a rigidez e sustentação da peça, pensou em

⁴⁰ Renderização é termo usado para o processamento e geração de um produto digital qualquer (imagem, áudio, etc.) em programas computacionais.

incluir nervuras radiais espaçadas e distribuídas da borda da polia até o furo do eixo central. Na Figura 14, podemos ver a polia inicial (R01) e a polia R02, já pesando 310 gramas.

FIGURA 14 - POLIA MOTORA CVT PR7-03, RENDERIZAÇÕES R01 E R02



Fonte: Estudos de modelagem feitos pelo estudante J.

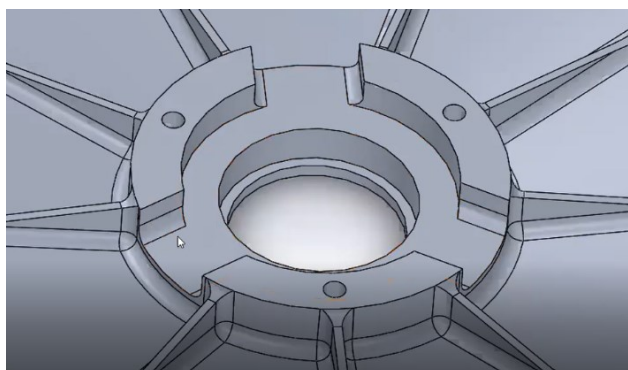
Perguntado sobre como chegou à ideia da mudança efetuada na forma e estrutura da polia, ele afirma:

Aí que tá, é conceito, eu não sei exatamente qual formato tem que ter, se tem que ter 6, 9 ou 3 nervuras, mas aí é o que seria bom senso sabe, eu não preciso ter um monte, posso ter menos. Um exemplo disso, é quando a gente, da CVT PR7-03 para a PR7-04, a gente avaliou e diminuiu a quantidade de nervuras no prato [uma das faces da polia], porque viu que dá pra tirar [nervuras], é só deixar um pouco mais grossa ao invés de mais fina [...] aí vai avaliando, vai equilibrando [...] esse prato seria 552 gramas, o outro prato [o R02] tem 310 gramas, com os mesmos encaixes, menos a parede do prato. Só nisso, nessa aplicação, então a gente viu, “olha isso está atendendo plenamente o nosso objetivo inicial de reduzir massa e satisfazendo da mesma forma o componente, a função do componente é a mesma com uma forma melhor”. Tem essa noção de função e forma né? Tem que atender a função, atendeu a função, vamos mexer na forma pra ver se continua atender, se continua a atender de forma melhor; ai ok! Daqui pra cá, a gente viu que não precisa ser um prato grosso, pode ser um fino com nervuras. Vamos ver qual o limite disso, né? (EST J).

O estudante vai explorando as possibilidades da forma, avaliando-as e verificando se faz sentido a alteração proposta, ou seja, se há uma correspondência com os requisitos desejados e estabelecidos nos objetivos iniciais, bem como com o conceito orientador da mudança: a eficiência, que envolve a noção da funcionalidade, a capacidade ou qualidade de cumprir uma função ou desempenho para a qual foi projetado. O limite a que o estudante se refere diz respeito às restrições estruturais da peça - requisitos de segurança estabelecidos pelo cálculo estrutural -, cuja forma deve, como mencionado, se adequar. O trabalho da modelagem da forma fica

condicionado ao trabalho da modelagem matemática, que valida a ideia de mudança da forma e também determina o material mais adequado para a fabricação da peça. A escolha do material é feita por meio da verificação de possíveis fragilidades (tensionamentos por cargas, trincas, rompimentos, deformações etc.) na estrutura da peça, buscando maior durabilidade e confiabilidade mesmo antes de ela ser fabricada. Na engenharia, a ideia de que a “forma segue a função”⁴¹ se faz preponderante e, na modelagem de design em engenharia, busca-se a melhor forma que atenda uma função, ainda que haja a presença de restrições das condições de contorno, ou seja, busca-se o “ótimo” dentro de um espaço de design relativamente “restrito”. Assim, dando continuidade à modelagem, a polia ainda passou por revisões na R03, quando foi retirada mais uma seção de material na parede circular central em relevo onde se encontravam os furos para os parafusos, sendo abertos 3 canais nessa parede, como se vê na figura abaixo.

FIGURA 15 - POLIA MOTORA DA CVT PR7-03, VERSÃO R03



Fonte: Estudos de modelagem feitos pelo estudante J.

A modelagem é um processo e o estudante reconhece e argumenta que vai avaliando o impacto das próprias escolhas, bem como as inter-relações dos elementos fixos e/ou restrições, para dar continuidade à elaboração da proposta de solução:

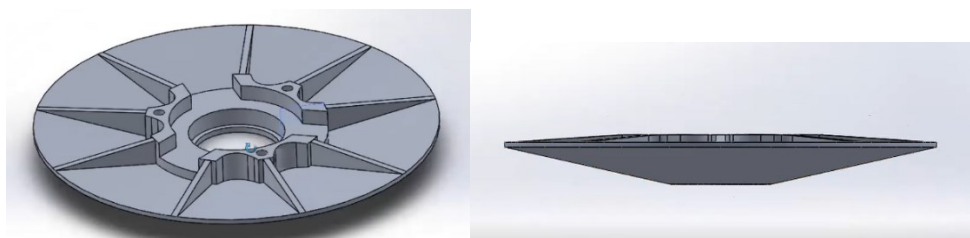
[...] vai avaliando o que não precisa [...] aí, o que a gente faz? Vamos simplificar, você fica pensando no que não precisa, onde eu posso melhorar. Por exemplo, esse furo é onde vem um parafuso, eu não posso mudar isso; não pode ser parafuso pequeno, porque ele não tem resistência; não posso por um muito grande, porque senão ele não cabe aqui, ele vai ficar pra fora. Tem coisas que são fixas, por exemplo, o diâmetro externo não pode ser maior nem menor, então isso é fixo [...] porque é onde vai passar o eixo [...] são requisitos

⁴¹ Proferida pelo arquiteto proto-modernista americano Louis Sullivan (1856-1924), a noção de que a “forma segue a função” se tornou um princípio do design funcionalista, segundo o qual a prioridade de qualquer design deve ser atender seu propósito, sua finalidade, sua função, extinguindo supérfluos e mantendo o necessário.

fixos, coisas que pode mudar e outras não, angulação do prato é fixo, todo esse pedaço em cima não é fixo. O que é fixo? A distância entre os parafusos, o diâmetro interno, o resto eu posso mudar tudo. Aí, o que que acontece? Você tirou isso aqui, mas o que isso impacta? Aí você faz outra análise estrutural e vê ah...isso não muda tanto, então essa alteração específica de abrir esse canal foi aprovado, então a gente segue com base nisso, continua a ideia com base nisso. O que precisa é de material em volta do parafuso, tirei tudo que eu posso [...] porque a gente tinha o que é fixo e o que não é fixo. Vamos modificar e reduzir, reduzir; se a gente avaliar a massa desse [R03], está 281 gramas, já tirou 30 gramas em relação ao inicial [R02], é quase metade da primeira versão [R01], de forma segura ainda, o que é mais interessante (EST J).

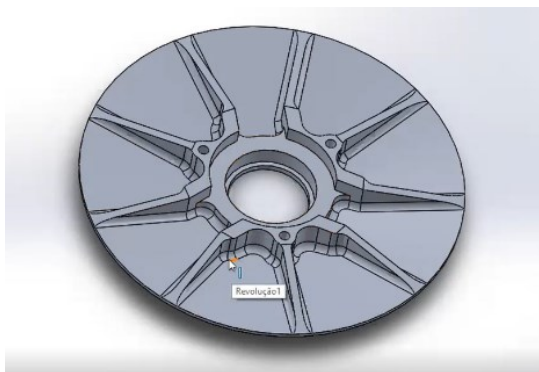
E o processo de exploração de áreas com material a ser retirado continuou, entre as nervuras, externamente, na parede circular central em relevo onde se encontravam os parafusos, cuja localização era requisito fixo/restrrição, como se vê na figura abaixo. O estudante também modificou e acrescentou uma leve inclinação no perfil das nervuras, partindo da borda da polia até a parede circular, onde se encontravam os parafusos, o que pode ser percebido na imagem em perfil (FIGURA16), se comparado com a R01.

FIGURA 16 - POLIA MOTORA CVT PR7-03, VERSÃO R04



Fonte: Estudos de modelagem feitos pelo estudante J.

Posteriormente, chegou-se ao R08, a versão “final” desse processo de modelagem (Figura 17, a seguir) que, apesar das mudanças estruturais na forma, se adaptou às restrições de contorno - como o diâmetro externo da polia, a angulação da face inclinada da polia, o diâmetro do furo interno onde passa o eixo, a posição dos furos de parafusos -, bem como aos estudos relativos a possíveis falhas estruturais feitos pelo Cálculo Estrutural.

FIGURA 17 - POLIA MOTORA CVT PR7-03, VERSÃO R08

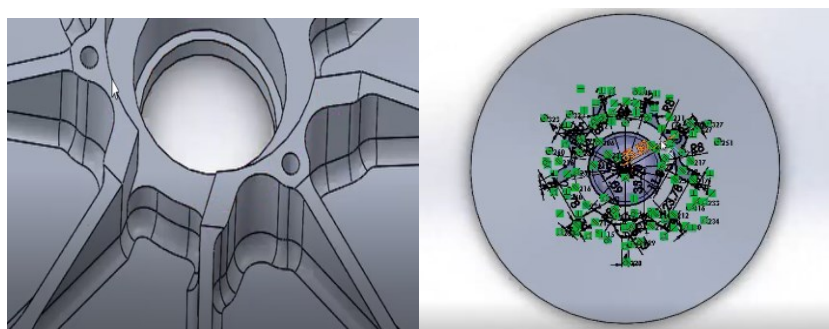
Fonte: Estudos de modelagem feitos pelo estudante J.

O percurso da modelagem é um processo no qual o estudante, como nos lembra Schön (2000), vai construindo uma “conversa” reflexiva com os elementos de que dispõe na situação e avaliando e ajustando as próprias ações e seus efeitos no conjunto da solução de design que está em elaboração, validando sua própria ideia de mudança. O estudante J relembra que, nesse processo, “entrou um pouco do conceito do que queríamos no começo, só que depois foi mais iteração, testa [no cálculo estrutural], dá errado; melhora, testa, dá certo, deixa” (EST J). Portanto, ele iniciou as adaptações a partir do que conhecia, criando sua própria versão e composição. Como é sabido na literatura sobre criatividade, não se cria algo do nada, e sim a partir de elementos e combinações ou novas composições entre elementos existentes e, neste caso, a partir de objetivos estabelecidos, do conceito de eficiência por massa, de parâmetros dos elementos envolvidos (inércia rotacional, torque e velocidade, relações de faixas de redução da caixa de engrenagens etc.), do material usado, sua forma e massa, das relações entre tais elementos, dos saberes disciplinares envolvidos e das restrições e condições de contorno (como diâmetro da polia, angulação da face cônica, posição de parafusos etc.) ao que se elabora. Esses elementos e fatores compõem o espaço do design onde o estudante elabora sua proposta de solução, configurando-a como uma “ponte” (CROSS; CHRISTIAANS; DORST, 1996) entre a ideia e o artefato gerado.

Entretanto, fazendo uma autocrítica, o estudante J reconheceu que tal reprojeto não tinha sido bem projetado por falta de experiência, pois ele não considerou, durante a modelagem, a dificuldade de fabricação, nem prezou pela simplicidade. A polia motora “é bonita, parece uma coisa bem orgânica e tal, mas é difícil de fabricar”. Para o estudante, o excesso de curvas e cotas (FIGURA 18) foi uma dificuldade tanto para a operacionalização/construção do desenho e sua forma no software de modelagem (*SolidWorks*) quanto para elaborar o programa computacional que executaria a usinagem na fresa, feito por ele próprio.

Dá trabalho de fazer muitas curvas, então essa forma aqui não existe, tem que fazer uma seção de círculos aqui, uma reta, outro círculo tangente ao outro, outro círculo; é tudo pedaço e pedaço, nada é definido de verdade, a não ser que eu defina isso. Aí chega daqui pra cá, essa superfície é inclinada em relação a essa e, entre essa curva aqui, uma curva fica perto de um plano inclinado com outro plano reto aqui. Como é que fica essa seção aqui? É tudo muito complicado. Não precisa ser complicado, tem que ser simples [...] desenhar é que deu trabalho [...] olha só quanta cota, esse aqui [mostrando a polia da CVT CR7-04 do ano 2019] é o exemplo da simplicidade, hexágono e círculo, é mais simples [...] então, a dificuldade foi, assim, a falta de experiência; ela implica em dificuldade de modelar, dificuldade de fabricar e um resultado que nem é tão bom (EST J).

FIGURA 18 - DETALHE DA POLIA R08



Fonte: Estudos de modelagem feitos pelo estudante J.

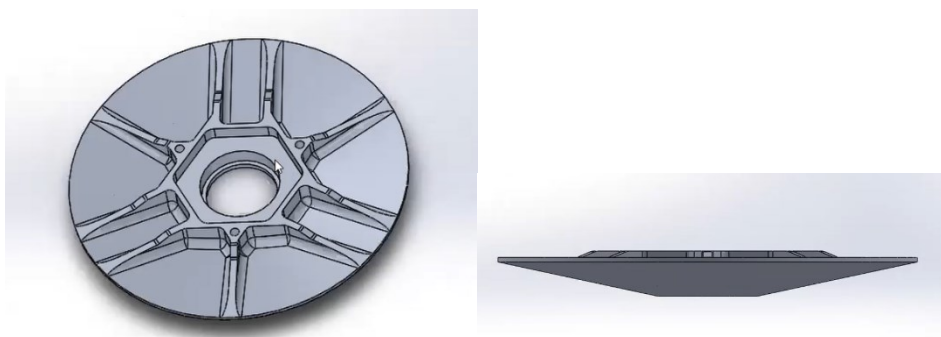
O estudante ressalta falhas cometidas na fabricação e lembra que a complexidade da forma - muitas curvas - levou a erros de programação computacional para a fresa CNC, que levaram ao refugo de um dos pratos das polias:

Eu errei no posicionamento da ferramenta [que] desceu mais do que devia [...] a gente não tem experiência, então comete erros [...] é computadorizado, mas é você quem comanda; se você erra no trajeto, a máquina faz errado [...] eu matei um prato, ficou inutilizado; é gastar mais porque você errou e o erro faz parte (EST J).

No ano seguinte, o mesmo estudante remodelou a polia motora para a versão CVT PR7-04, para a competição de 2019 (FIGURA 19), alterando a forma geométrica da peça, fazendo-a com menos curvas e mais retilínea, tendo em vista a simplicidade construtiva na hora de fresar. Também alterou o perfil das paredes das nervuras onde havia uma inclinação contínua que se iniciava na borda da polia até seu nível mais alto, o que foi, para ele, uma dificuldade na fabricação. Assim, propôs que a nervura ficasse no mesmo nível, rente à borda da polia e passou a mudança de nível mais para o centro, facilitando a fabricação sem que houvesse perda de rigidez necessária e nem risco de rompimento da peça. Ou seja, simplificou e buscou adaptar

seu projeto para ter melhor confiabilidade em relação ao não rompimento da peça e melhor fabricabilidade, pois, segundo ele, a anterior havia demandado 10 horas para programar e 4 horas para fresar, atividades realizadas pelo próprio estudante. Para ele, o acréscimo/substituição de um rebaixo em formato hexagonal no centro da polia para ajudar a prender a peça que suporta os contrapesos, os roletes e rampa de deslizamento também foi um avanço no projeto. Na versão anterior, esse rebaixo era circular, o que provocava folga e se desgastava, isto é, aconteceu uma falha pós-fabricação e no uso, não prevista no projeto, mas corrigida posteriormente. A elaboração da versão CVT PR7-04 (2019) foi o momento de correções de erros de projeto, que não se encerra em uma temporada de competição; trata-se de um processo iterativo a cada ano.

FIGURA 19 - POLIA MOTORA CVT PR7-04 DE 2019



Fonte: Estudos de modelagem feitos pelo estudante J.

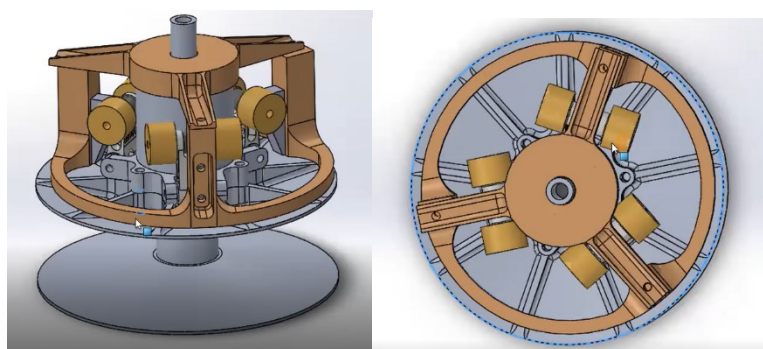
Ainda considerando a polia motora da CVT PR7-03 de 2018 e as restrições com as quais lidou, o estudante J afirma: "você assume as restrições, deixa elas como restrições no desenvolvimento, é claro, você não vai questionar a partir do pressuposto que ela é imutável, mas teve coisa que a gente questionou". A essa altura, ele lembra o caso dos 4 contrapesos (peças circulares feitas em cobre) existentes na face traseira, a face não cônica da polia (FIGURA 20) que, nas CVT prévias, não havia sido questionado porque era uma *herança* do modelo comercial utilizado anteriormente:

Não tem que ser assim, aí você pára para pensar [...] mas tem que ser assim? Isso era uma restrição que foi quebrada, sabe? Você encontra restrições, mas você avalia: "é uma restrição mesmo? Se for mesmo, aí você aceita ela e assume como limitação, você não sai disso. Aí você tem que pensar na inovação né? (EST J).

No processo de design, considerar algo fixo ampara a noção de *design fixation*, segundo a qual a provisão de uma descrição ou requerimentos iniciais para uma função desejada pode limitar a habilidade do designer de produzir uma nova solução, diferente daquela encontrada na própria descrição da função desejada para o design (GERO, 1990, p. 36). Mas, durante a modelagem, sempre há a possibilidade de questionar e mudar algo até então considerado um requisito fixo ou uma restrição. Uma pessoa pode perceber um espaço para mudança ou expansão onde ninguém vê, pois a percepção de uma restrição ou de um espaço para mudança e/ou expansão são experiências do indivíduo, dependendo de saberes diversos e memória de experiências vividas evocadas pela situação (HATCHEIL; WEIL, 2003).

Um dos objetivos do projeto era reduzir peso - uma vez que o peso do conjunto das polias afetava a inércia rotacional e sua consequente transmissão em torque e velocidade para o protótipo. Então, o estudante teve a ideia de simplificar e retirar um dos contrapesos - e seu peso, propriamente dito, bem como o da haste/suporte que o prendia -, pois havia visto que outras equipes usavam três. Esses contrapesos, que deslizam em uma espécie de rampa, são os componentes que promovem, em conjunto com o movimento da força centrífuga que vem do motor, o deslocamento das polias, fazendo-as comprimir ou descomprimir (abrir ou fechar), causando o deslocamento da correia em diâmetros diferentes; com a simplificação para 3 (três) contrapesos, o estudante esperava conseguir o mesmo funcionamento.

FIGURA 20 - CONTRAPESOS DA POLIA MOTORA CVT PR7-03

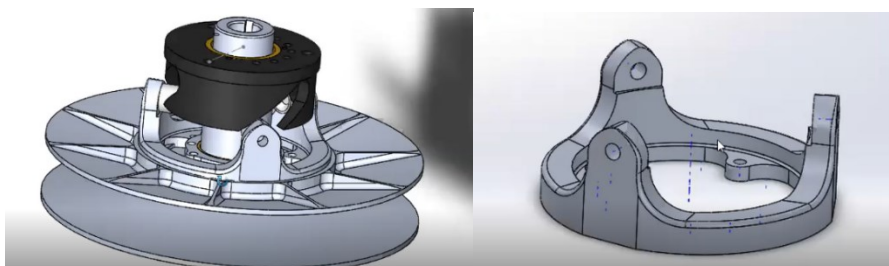


Fonte: Estudos de modelagem feitos pelo estudante.

Assim como a polia motora, a polia movida também comporta, em sua face não cônica, um conjunto de peças (roletes e rampa) que permite à polia abrir e fechar. Na versão anterior ao reprojeto de 2017, o conjunto todo da polia movida ainda era uma versão simplificada da fabricante Comet (FIGURA 21, a seguir) e havia uma peça inteiriça circular que dava suporte e prendia os roletes. A forma geométrica e estrutural dessa peça também passou por reprojeto,

uma alteração que diminuiu bastante o peso de todo o conjunto da CVT, um dos objetivos gerais da remodelagem.

FIGURA 21 - POLIA MOVIDA CVT 2017 DETALHE DO SUPORTE DE ROLETES



Fonte: Estudos de modelagem, elaborados pelo estudante J.

Além do problema do peso, a peça era "difícil de fazer e ainda era encaixada com um parafuso na borda interna; era muito complicado" (EST J) sua manipulação. Então, como a ideia geral da remodelagem da CVT PR7-03 foi simplificar e reduzir peso, após refletir, o estudante J passou "muito tempo batendo a cabeça pra saber como ia montar isso" (EST J). Assim, propôs individualizar esses suportes (em umas peças no formato de torre), tornando-os isolados e cada um preso, sozinho, a uma cavidade, sem a peça única circular que os unia, que era pesada e com fixação com parafusos internos de difícil manuseio. Considerando a resistência da nova montagem proposta, o estudante pondera que "essa era uma preocupação, eu queria ter feito uma peça inteiriça, mas, por falta de *know-how*, [a] fez encaixada [às torres]". A preocupação era exatamente o encaixe - como fazê-lo e como dimensionar as torres de forma segura - e, ao mesmo tempo, a incerteza de

[...] se ia segurar, né? Porque, assim, antes como ela era toda junta aqui não tinha como soltar uma dessas, não ia sair sozinha, o medo era de cada um desses explodir e sair voando, porque ele está só segurado aqui, tem um encaixe, bem apertado, fica rente à superfície e vem um parafuso e segura. Ok, mas não dá garantia porque era um conceito novo, você tira toda uma massa que ligava um no outro; tirar tudo isso e deixar só as torres [...] é o que a gente tava correndo risco (EST J).

Mas a despeito da preocupação, a ideia foi aprovada inicialmente pela equipe, pois os suportes estariam parafusados.

A gente discutiu; a chance dele explodir era pequena [...] mas estávamos testando o conceito e, honestamente, e era tudo muito experimental. Se desse pau, a gente voltava pro antigo, mas provou que não precisava, só nisso aqui a gente reduziu 70% de massa. Valia a pena, sabe? (EST J).

A modelagem permite a exploração das possibilidades frente aos requisitos desejados e a visualização/simulação das condições de uso, isto é, permite ao estudante experimentar e, como o próprio J revela, “se desse pau, a gente voltava pro antigo [...] o que não funcionou, então tem que voltar, é um processo” (EST J) de experimentar e avançar em uma nova proposta. A modelagem dos suportes dos roletes passou, então, pelo processo de melhoria, a partir da proposição de mudança e individualização da forma geométrica da peça, quando o estudante põe à prova o conceito ou a ideia inicial, por meio de análises e testes estruturais. O estudante

[...] queria deixar ela [a torre de suporte] bem fina, só que não aguentava, porque tinha muita força aí [...] tive que aumentar a espessura das torres, começava reduzir e não funcionava, aí aumentava de novo [...] agora ficou mais robusta, precisava [...] tinha que ser mais alto, aí foi essa evolução (EST J).

As versões do desenvolvimento podem ser vistas na Figura 22:

FIGURA 22 - DESENVOLVIMENTO SUPORTE DE ROLETES POLIA MOVIDA CR7-03

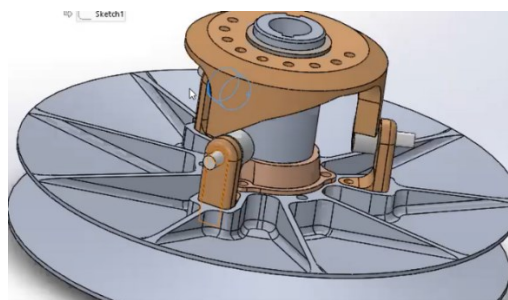


Fonte: Estudos de modelagem do Estudante J.

A modelagem é um processo de iteração, “a gente vai modelando, a gente vai mudando o formato e vai vendo. A gente chegou até a 6 (seis) versões de uma pecinha só” (EST J). Esse percurso é representativo do processo de conhecimento e aprendizagem do próprio artefato que está em elaboração. Sobre a alteração e o resultado, ele argumenta que atendeu o objetivo de tirar massa e “não deu errado, mas deu trabalho de montar isso; a base dos roletes entra dentro dessa cavidade, é muito apertado, milésimos de milímetros. Se der um milésimo a mais, ele não entra; se a fabricação não for de precisão, não entra. Fabricar é difícil [...] tipo, não foi prático de jeito nenhum” (EST J). A modelagem dos suportes dos roletes foi realizada concomitantemente à remodelagem da polia movida, que passou por processo semelhante ao da polia motora, também sendo submetida a um reprojeto de sua forma geométrica, pois agora precisava ter cavidades para acoplar os suportes - subsidiada por estudos do cálculo estrutural.

Uma imagem da polia movida, já com os novos suportes dos roletes encaixados nas cavidades, pode ser vista na Figura 23, a seguir:

FIGURA 23 - POLIA MOVIDA CVT PR7-03 DE 2018

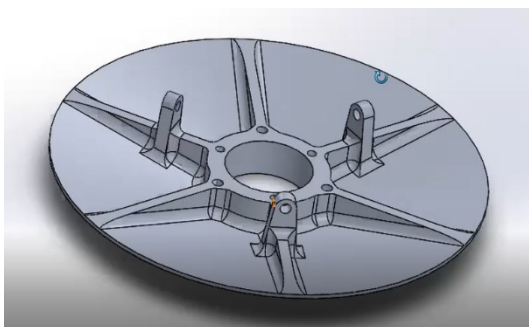


Fonte: Estudos de modelagem do Estudante J.

O uso da CVT PR7-03 na competição trouxe mais “confiança para fazer diferente” (EST J) e, em 2019, todo o conjunto - polia movida e suportes de roletes - passou por um segundo reprojeto, com a eliminação de nervuras desnecessárias e, principalmente, com eliminação da cavidade de encaixe dos suportes de roletes, que passaram a ser integrados no corpo da própria polia, FIGURA 24, trazendo robustez estrutural, redução de peso, simplificação e otimização da forma. O estudante lembra que, anteriormente, não havia sido feita uma peça inteiriça porque o material do prato custava R\$ 400,00 (quatrocentos reais) e “você não tem 400 reais pra ficar testando [...] nem sempre tentativa e erro é viável” (EST J). Esse relato revela mais uma restrição à equipe, ou seja, uma restrição de recursos financeiros, mas revela também uma pressão para que a atividade da modelagem seja executada de maneira mais cuidadosa possível, ainda que possam ocorrer falhas, imprevistos, indeterminações e imprecisões relativas às condições de contorno. Assim, os suportes, antes acoplados e parafusados, agora, “ao invés de fazer separado e depois montar, foi feito usinado direto na peça, inteiriça. Aí, de novo, [foi] aquele processo iterativo [...] é testando de novo, essa prova de conceito, sabe?”, num trabalho conjunto com o cálculo estrutural para validar a nova proposição da forma.

A mudança melhorou a fabricabilidade, apesar do custo elevado de usinagem de uma peça inteiriça, pois deve-se adquirir uma peça com espessura mais alta, desbastar no entorno dos suportes e desperdiçar muito material; tudo feito na fresa CNC, cuja programação dos comandos computacionais, bem como a operação da máquina foram realizadas pelo próprio estudante.

FIGURA 24 - POLIA MOVIDA CVT PR7-04 2019 SUPORTES DE ROLETES INTEGRADOS



Fonte: Estudos de modelagem do Estudante J.

Sobre interferências da CVT em outros componentes e/ou outros subsistemas do protótipo, o estudante afirma que ela fica isolada e que não houve interferências que impactassem durante o processo da modelagem:

O meu espaço era limitado, mas no último projeto 2019 [realizado por outro estudante para a competição de 2020], a CVT PR7-05 teve interação de empacotamento,⁴² porque reduziu o tamanho da CVT e pôde jogar a roda mais pra frente, aí deu impacto na suspensão, no sistema de freios, no cálculo estrutural, porque mexia na gaiola [chassi]. Isso foi uma parte que a gente teve que mexer com muita atenção, para garantir que as coisas não batessem uma na outra (EST J).

Ainda que não tenha tido interferências, na modelagem, o estudante é levado a pensar de forma sistêmica, considerando a integração do componente trabalhado com seu entorno e as possibilidades de localização ou mesmo do formato dos artefatos, como o mencionado na CVT PR7-05 de 2019. Interessante pontuar que, mesmo o estudante J não sendo mais integrante da equipe em 2019, o excerto acima revela que ex-membros, quando são solicitados pelos membros atuais, participam no processo de desenvolvimento e aprimoramento de componentes do protótipo. Isso demonstra o espírito de equipe e de vínculo (até afetivo) que é construído durante a experiência vivida no projeto.

Após a remodelagem e otimização estrutural dos componentes (polias motora e movida e, ainda, suporte de roletes da polia movida), houve uma substancial redução da massa total da CVT PR7-03, que passou de 5,1kg (CVT PR7-02 de 2017) para 3,8kg e, conseqüentemente, a diminuição da inércia rotacional total das polias em 39%. Isso aconteceu porque o protótipo foi

⁴² “Empacotamento” é o termo utilizado para designar o acondicionamento/organização espacial de elementos constituintes de uma peça/mecanismo/sistema entre si e em relação ao seu entorno.

modificado, dimensionado e adaptado para o desejado, o que afetou diretamente a melhora do seu desempenho. Com a CVT PR7-03, o tempo de aceleração que o protótipo percorria em 30 metros caiu de 4,40 segundos, em 2017, para 4,08 segundos, em 2018, ao passo que houve aumento da velocidade em 100 metros, indo de 41,6 km/h, em 2017, para 51,7 km/h, em 2018. Esse processo de desenvolvimento da CVT repercutiu nos resultados da competição: no ano de estreia da CVT PR7-03, a equipe ficou em segundo lugar geral na competição e obteve o terceiro lugar na avaliação do projeto técnico de Powertrain.⁴³ Ainda assim, o estudante reconhece que a nova CVT por ele modelada “foi inovadora pro momento, um avanço, [mas] não era o melhor” (EST J).

Entretanto, a despeito dos resultados positivos alcançados, o estudante encontrou indeterminações no processo de modelagem, como o não conhecimento de todas condições de contorno envolvidas, o que é natural em um processo complexo de construção de soluções de design para um artefato técnico, mas que, conseqüentemente, acarreta problemas no momento pós-fabricação e de uso.

Como exemplo de problemas, o estudante cita a ocorrência de trincas na superfície curva entre as nervuras da polia movida e no rasgo de encaixe da chaveta, próximo ao furo central onde vai o eixo, além do desgaste do anel de retenção utilizado no mesmo local. Portanto, componentes e fatores não identificados na análise estrutural comprometeram a confiabilidade do artefato e, para o estudante, houve erro de avaliação do cálculo estrutural durante a modelagem, mas que seriam corrigidos no ano seguinte. Segundo ele,

[...] não avaliou direito, aí trincou, porque quando faz a análise, faz análise estática, com uma carga só, só que pode ter sido fadiga, é quando acontece repetidamente um ciclo [de cargas], fez o mesmo movimento 10 vezes, aí quebra; uma vez não quebra, 10 vezes quebra. A gente analisa uma vez “pode ter sido isso”, aí trocamos o prato, porque ele estava muito enxuto, a gente aumentou essa dimensão depois, “é aqui, esse anel de retenção”, ele desgastava e deformava, ficava frouxo. Depois trocamos o conceito na 04, era coisa que não estavam previstas sabe? Mas teve erro sim, erro de projeto, mas foi corrigido no futuro. Outro erro foi na 04, foi uma trinca nesse pedaço aqui [se referindo à base dos suportes dos roletes da polia movida], porque o cálculo, depois foi ver, estava errado, de fadiga, dava pra ver que ele ia trincar, não foi avaliado antes. Aí propôs alteração até melhorar, propôs o conceito, ele funcionou, só que ele falhava depois, com o tempo, com a fadiga; aí que foi destacado que precisa avaliar a fadiga de algumas coisas (EST J).

⁴³ Nos últimos anos, a equipe tem estado entre as primeiras colocações na competição: 2017 - 2º lugar, 2018 - 2º, 2019 - 13º, 2020 - 7º, 2021 - não houve competição, 2022 - 7º. Especificamente no quesito apresentação de Relatório Técnico do Subsistema *Powertrain*, a equipe obteve os seguintes resultados: 2017 - 2º, 2018 - 3º, 2019 - 4º, 2020 - 4º, 2021 - não houve competição, 2022 - 2º lugar.

É normal ocorrerem falhas construtivas pós-construção e uso, pois não há mesmo como prever todos os detalhes e condições de contorno, mesmo na engenharia, que muitas vezes trabalha por aproximações e estimativas frente às restrições e/ou indeterminações do processo projetual. O estudante ressalta que “não dá pra saber tudo [...] simplificou, só que a custa de falhar, isso falhava [se referindo a um desgaste no rasgo de encaixe da chaveta na polia movida que se prende ao eixo de transmissão] com o tempo. Mas é isso, depois a gente avalia” (EST J). Esse relato revela a consciência que ele tem do caráter iterativo e adaptativo do processo projetual. No excerto abaixo, ele reconhece que desenvolver uma solução técnica não é somente modelar a forma pelo desenho:

Projeto não é só a modelagem, o projeto tem que ter embasamento teórico, senão dá tudo errado [...] qual o valor das reduções? Depois que isso é definido, que você desenha [...] não adianta ter o formato se o conceito está errado [...] se der esse projeto para uma pessoa que não é da área, ele pode saber desenhar, mas não vai saber o conceito por trás [...] muda o diâmetro, muda todo o resto [...] precisa para você ir pro resto. O formato da nervura, quantos parafusos aqui, isso não importa se o resto está errado [...] Você pode ficar modelando, tentando descobrir o quê que você quer; você tem que sentar para modelar sabendo o que você vai ter. Tentar achar a solução desenhando e não é assim que faz, você não tem um conceito teórico ali por trás, o que entra o que sai [...] não adianta desenhar e achar que vai funcionar [...] tem um cálculo por trás e você vai descobrir o diâmetro, o comprimento é tal, a pressão vai ser tal, aí depois você desenha. Ah ... eu preciso de qual retentor, qual isso, qual aquilo, depois a engenharia da fabricação em torno daquilo. Mas se o conceito está errado, pode estar tudo certo [se referindo a forma], só que não vai funcionar, tem que ter o conceito por trás [...] se você desenha achando que você vai descobrir, vai sair errado (EST J).

Um projeto complexo como um protótipo de veículo e um mecanismo CVT envolve vários saberes disciplinares e aqueles relativos à experiência imediata com o artefato. Por isso, o estudante foi compelido a investigar sobre vários tópicos e disciplinas, como Resistência dos Materiais, Tribologia,⁴⁴ Metrologia,⁴⁵ uma vez que, no conjunto da CVT, há atrito entre materiais, bem como encaixes de precisão entre peças, da ordem de 3 centésimos de mm de tolerância. Ele afirma:

⁴⁴ Tribologia é a disciplina que trata da interação de superfícies em movimento relativo; une os campos da mecânica, física, química, materiais e os conhecimentos em lubrificação atrito e desgaste para prever o comportamento de sistemas físicos.

⁴⁵ A Metrologia é a disciplina que trata de aspectos teóricos e práticos da medição, sua precisão, tolerâncias e campos de aplicação.

Por exemplo, tem uma disciplina que eu não conhecia, que é a Tribologia. Tá vendo este rolete aqui? Quando ele desliza, ele desgasta, [já] isso é desgaste da correia [...] desperta a curiosidade, você tentar identificar o que você fez de errado ou o que você não fez. Isso aqui eu não fiz errado, eu não fiz; inclusive eu estou com ideia de resolver isso aqui [se referindo ao desgaste na polia pelo contato com a correia]. Na verdade, era previsto, só que não foi feito nada. Isso já acontecia, nas compradas acontecia isso, ela gira muito rápido, está quente, entra terra (EST J).

Eu estava no 3º período e não sabia nada, tive que estudar um pouco caracterização dos materiais, do aço, se vai ser bronze, alumínio, os parafusos, análises. A gente não entrou no mérito de térmica [se referindo à disciplina Termodinâmica] ou fluidos aqui, porque tem o ar; a CVT esquenta, tem aquele tubo grande, é pra refrigerar, que é uma coisa que precisa ser desenvolvida [...] pesquisei também normas, por exemplo, para fazer esse furo para o parafuso aqui, todos a gente tem que saber qual tipo de furo fazer, tem norma para os parafusos, para a chaveta, anel trava tem norma; tive que investigar isso (EST J).

Ou seja, além do conhecimento experiencial que o estudante vai construindo enquanto percorre o desenvolvimento do artefato em elaboração, o conhecimento disciplinar ou o estado da arte de determinada área de domínio é preponderante no design em engenharia e podemos mesmo considerá-lo um dos elementos do espaço do design, ou seja, o campo de trabalho da modelagem. Perguntado sobre o que aprendeu no percurso da atividade da modelagem, o estudante J afirma: “ah ...você descobre que você é muito leigo, né? Quando você entra, você não sabe nada, nem sabia que existia isso, a modelagem 3D no Solid, a análise estrutural com o Ansys,⁴⁶ que a gente olha a geometria e aplica as forças e olha como o componente se comporta” (EST J). Quanto ao software que elabora a programação computacional que comanda a máquina fresadora, ele diz que aprendeu “na marra, o visual 1000, a interface entre a máquina e a peça, é o programa do CNC, aprendi do zero” (EST J). E, como mencionado pelo estudante, ter noção de processos de fabricação pode auxiliar bastante durante a fase da modelagem da forma, evitando erros e perda de recursos, de material e de tempo de execução.

A despeito do conhecimento técnico-científico envolvido na modelagem dos artefatos, o estudante ressalta que uma CVT não diz respeito e nem se reduz à transmissão de torque e velocidade:

Tenho que conhecer materiais, composição do material, tenho que saber sobre fabricação, tenho que conhecer as ferramentas, fornecedores, custos, você pode extrapolar mais, entrar na parte tribológica sobre as superfícies e atritos

⁴⁶ Programa de software para simulação envolvendo análise estrutural, fluidodinâmica, eletromagnética e multifísica, auxiliando no desenvolvimento de produtos e processos na engenharia.

do material que você está trabalhando [...] para CVT, precisa de Tribologia e, na época, ninguém tinha esse conhecimento e quando o projeto fica pronto apresenta problemas relacionados a conhecimentos que não estavam desenvolvidos. Então, a questão do atrito começou a ter muito desgaste da correia, interação de borracha e alumínio, aí a gente pensa “porque que a gente não pensou nisso?”. Agora é tudo corretivo, e até que ponto você é criativo? Porque eu fui dizer que fui criativo, só que um domínio técnico de uma parte específica [se referindo à Tribologia] que é relevante, talvez, se tivesse mais conhecimento, uma bagagem, tivesse sido menos criativo e mais eficiente na execução (EST J).

No excerto acima, J questiona se sua proposta de modelagem de componentes da CVT teria sido criativa, uma vez que houve falhas no pós-fabricação, o que seria sinal de ineficiência na condução da modelagem. Dito de outra forma, ele se pergunta: qual é o valor da criatividade se o artefato apresentou problemas? A fala do estudante revela uma preocupação maior com o embasamento técnico-científico que dá suporte à forma, ao material utilizado, a uma melhor fabricação e à eficiência em uso do artefato, em detrimento da forma geométrica modelada pura e simplesmente. Na engenharia, a criação de soluções, diferente dos artefatos no mundo das artes, fica preponderantemente vinculada a noções paradigmáticas, como eficiência e funcionalidade, para a qual o artefato deve existir. O estudante ressalta a importância do conhecimento que subsidia a configuração das formas geométricas, estruturas e construção das soluções. Mas os aspectos da forma e os saberes que fundamentam uma função em um artefato/solução devem andar juntos; uma dimensão não pode ser priorizada em detrimento da outra. Em geral, os problemas e as falhas que ocorreram durante o percurso da modelagem, relativos aos componentes da CVT - trincas, desgaste de materiais da polia em contato com a correia, dificuldade de usinagem etc. - estão relacionadas à falta de conhecimento técnico ou a indeterminações inerentes ao processo do design.

Entretanto, mesmo para uma solução técnica baseada em um espaço de design restrito, com indeterminações e baseado em conhecimento técnico-científico, não há impedimento para que seja criativa, isto é, que seja uma nova composição, eficiente e funcional. Como nos lembra Zavadil et al (2016, p. 2), a criatividade emerge da relação do indivíduo com seu meio, sendo uma capacidade sistêmica que envolve processos cognitivos e experienciais; é o resultado da convergência ou a síntese de vários saberes, experiências do indivíduo. A atividade do design em engenharia pode ser o canal pelo qual se sintetiza, equilibra ou harmoniza o encontro e a emergência do fenômeno da criatividade com a funcionalidade, promovendo essa convergência de saberes em uma solução funcional, primordial nos artefatos técnicos na engenharia.

No design em engenharia e no percurso da modelagem, o desenvolvimento de soluções é alinhado tanto à experimentação e exploração de possibilidades - inerente à modelagem - quanto aos conhecimentos disciplinares que fundamentam o funcionamento satisfatório dos artefatos, combinando o teórico com o experimental, buscando alternativas e combinações. A modelagem - como vimos no desenvolvimento da CVT - é um percurso de mudanças e adaptações, que busca o “ótimo” em um espaço de restrições com indeterminações, mas que permite novas combinações possíveis. Assim, ela se adapta à proposição de mudança exigidas pelas contingências do contexto, isto é, ao que é possível, viável e funcional em um dado momento do projeto, mas que não exclui os aprimoramentos posteriores.

5 RESULTADOS E ANÁLISES DA PESQUISA DE CAMPO

A partir da atividade de desenvolvimento de artefatos técnicos elaborados pelos estudantes na modelagem do design em engenharia, vistos no capítulo anterior, este capítulo busca codificar e categorizar unidades de significação para amparar as análises sobre a pesquisa de campo, estabelecendo relações entre tais categorias e buscando alcançar um construto que dê conta da questão da pesquisa. Por meio das entrevistas sobre o trabalho desenvolvido pelos estudantes, foi possível um exercício de extração de codificações iniciais, intermediárias e focalizadas, que se encontram no APÊNDICE 1, também, sintetizadas na FIGURA 25.

FIGURA 25 - CODIFICAÇÃO FOCALIZADA PARTIR DAS ENTREVISTAS



Apesar de as codificações apresentarem-se relativamente agrupadas, elas são passíveis de um outro exercício de agrupamento, por exemplo: os elementos que compõem as "condições de contorno" e "outros fatores" podem ser considerados como constituintes de uma dimensão maior, um espaço de trabalho, já que são dados ou condições impostas pela situação e também podemos considerar que o saber disciplinar já estabelecido como área de domínio é disponível para consultas nesse mesmo campo; fatores pertinentes ao indivíduo - por se revelarem e se efetivarem de forma consciente ou não - podem ser diretamente associados às ações e estratégias realizadas sobre o problema; elementos como o saber disciplinar, classificado como uma estratégia, pode também ser compreendido como um dado já estabelecido, sendo parte do espaço de trabalho; por último, fatores como singularidade do protótipo - apesar de a singularidade também ser uma condição atual do protótipo, resultante de iterações anteriores -

e adaptação podem ser compreendidos como resultantes de todo o trabalho realizado no espaço do design e não como elementos do espaço. Adicionalmente, buscamos também reclassificar essas codificações (FIGURA 26), agora baseados no percurso da atividade da modelagem, que é comum aos três casos relatados, assim como é consoante ao processo projetual como um todo, fazendo a “ponte” entre uma ideia de solução e o artefato elaborado.

FIGURA 26 - O PERCURSO DA MODELAGEM



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse percurso, o estudante se encontra, inicialmente, com um problema situado em um espaço de design que contempla características diversas, tanto imediatamente relacionadas ao próprio problema quanto a informações adjacentes - mais próximas ou distantes - e que compõem o ambiente onde o problema se encontra. Tais informações, mesmo as de natureza qualitativa, são traduzidas em valores paramétricos, sendo eles os elementos com os quais o estudante trabalha, manipulando-os com diversas estratégias, a fim de alcançar a configuração de uma síntese, a solução criada. Esse percurso configura a própria ação técnica e a atividade da engenharia, sendo resultante da relação do indivíduo com o seu meio, isto é, a criação de soluções para problemas da realidade - no caso desta pesquisa, problemas enfrentados no percurso de aprimoramento de um artefato técnico, o protótipo.

Para o processo de organização dos dados da pesquisa e com o intuito de proceder à análise, essas considerações buscam sintetizar significados das codificações focalizadas em noções mais amplas e, ao mesmo tempo, específicas, que contemplassem um sentido de *unidade* ou identidade de categoria de análise, bem como uma noção de dimensão e sentido para as ações tomadas. As categorias de análise foram estabelecidas como três campos ou dimensões - *o espaço do design, a experimentação e a adaptação* - que caracterizam a atividade da modelagem e podem ser compreendidas e associadas a questões essenciais de um processo de investigação do problema de design enfrentado, que são: “o quê” é o problema que encontra-se

no espaço do design (quando o estudante identifica os elementos e condições de existência do próprio problema); “o como fazer” ou como foram conduzidas as atividades pela experimentação (quando o estudante busca agir sobre o problema em seus diversos aspectos e implicações); “o porquê” e as justificativas que dão sentido às ações e que sintetizam um ajuste das ações tomadas ao longo do percurso, configurando uma solução criada. Como um processo projetual em geral pode ser compreendido como um processo de construção de uma reflexão sobre ideias e ações, buscamos associar tais categorias de análise a eixos temáticos baseados na teorização do processo da “reflexão em ação” de Donald Schön (2000), para quem é possível identificar as operações do “conhecer, avaliar e ajustar” nas ações do indivíduo na situação. Por sua vez, essas operações configuram a construção de uma solução em design e perpassam todo o processo da atividade da modelagem - da leitura à construção da síntese. Ressaltamos que essas questões essenciais relativas aos campos de atuação, bem como os elementos, fatores e categorias associadas, são os *ingredientes* que, em grande medida, possibilitam a configuração de condições de trabalho, fomentam o desenvolvimento de habilidades, suscitam motivações dos indivíduos e, em última instância, compõem o contexto das atividades envolvidas no exercício da modelagem.

É bom lembrar que há uma transversalidade entre as categorias estabelecidas, pois elas se entrecruzam ao longo das atividades desenvolvidas, como: a compreensão do espaço do design feita pelo indivíduo mas que perpassa todo o processo da experimentação; na dimensão do espaço do design e sua leitura também ocorre a experimentação de ideias; na fase da concretização do artefato e sua adaptação, há a manifestação e a fusão tanto de uma leitura do espaço do design quanto é reflexo da própria experimentação.

Assim, a estruturação e agregação realizadas servirão de eixos sob os quais construiremos nossa análise em blocos textuais, conforme mostra o QUADRO 27.

QUADRO 27 - CATEGORIAS DE ANÁLISE

EIXOS DE ANÁLISE	CATEGORIA DE ANÁLISE
Reconhecer/conhecer o problema - relativo ao “o quê”	O espaço do design
Avaliar ações e descobrir “como” fazer	A experimentação
Ajustar e consolidar uma ideia, relativa ao “porquê”	A Adaptação

Fonte: elaboração própria.

5.1 Sobre o Espaço do Design

A atividade da modelagem de soluções implica em lidar com a realidade do estado atual do protótipo, bem como com as necessidades desejadas para seu aprimoramento. O espaço do design, como uma dimensão da atividade, apresenta uma profusão de elementos, fatores e condições de contorno que caracterizam um espaço de trabalho onde o problema - geralmente uma ineficiência ou lacuna de algum componente, sistema ou função - emerge, mas também é dele que emerge uma potencial solução.

O campo de trabalho permite ao estudante conhecer e/ou reconhecer o que é o problema. Assim, o exercício da modelagem e de idealização de uma solução começa na leitura do espaço do design, seus elementos constituintes, as condições de existência do problema e suas relações com o contexto mais amplo. Tal investigação implica na busca e acionamento tanto de saberes disciplinares já estabelecidos quanto do conhecimento experiencial específico do protótipo já acumulado pela equipe ao longo dos anos e, adicionalmente, dos saberes da experiência dos indivíduos envolvidos na construção das soluções (caso do estudante Z, que é egresso de um curso técnico em mecânica industrial e projetou o *Steering Link* pneumático). Assim, o espaço do design pode ser compreendido como um “mundo objeto” (BUCCIARELLI, 1996) a ser investigado, isto é, apresenta a realidade onde o projeto se encontra e de onde surgem demandas que suscitam formas de pensar, enquadrar e atuar do indivíduo, a fim de compreender os elementos, estruturas e funcionalidades envolvidas no problema, bem como seus processos geradores e os demais fatores externos intervenientes. Na situação projetual, a leitura do espaço do design e do problema é o primeiro passo da modelagem da proposição de soluções e também pode ser compreendida como uma construção, cuja compreensão permite ao indivíduo imaginar, combinar, modificar e criar algo novo, transformando a realidade e os artefatos gerados pela atividade, ainda que com pequenas modificações (VYGOSTKY, 2009).

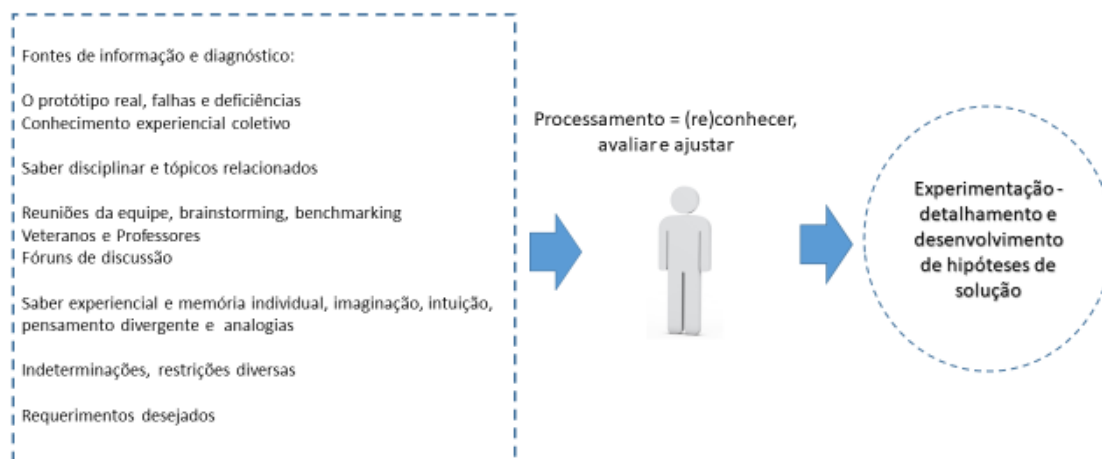
Na equipe BAJA UFMG, essa primeira leitura é realizada tanto no nível coletivo quanto no individual. No coletivo, ela acontece por meio de reuniões de equipe, inclusive com consultas a veteranos e professores, para discussão e avaliação de deficiências, falhas, possíveis melhorias, estabelecimento de metas de desempenho, bem como por meio da prática de *brainstorming* - o que implica, por parte do indivíduo, o acionamento da imaginação, de analogias e pensamento divergente - quando se vislumbram possíveis soluções. A equipe também utiliza a prática de *benchmarking*, quando busca verificar as melhores práticas e o estado da arte para componentes, sistemas e funcionalidades usados em protótipos do tipo baja. Os estudantes realizam essas prospecções por meio de pesquisas e de participação em fóruns

de discussão online ou mesmo ao assistirem a apresentações técnicas e análises visuais de concorrentes, durante a competição. Assim, as reuniões são uma das formas pelas quais a equipe busca coletar informações e estabelecer, em linhas gerais, as primeiras especificações desejadas.

No nível individual, é permitido ao estudante expor-se livremente e propor suas ideias, ainda que difusas e incipientes. Como nos lembra Simondon (2005), essa fase surge da percepção e atribuição de sentido às coisas pelo indivíduo; as ideias percorrem um ciclo de desenvolvimento, começando com uma fase sincrética com diferentes elementos e visões baseados na ressonância afetivo-emotiva da experiência e memória, mas se enriquecendo de contribuições cognitivas - análise e síntese -, antecipando o futuro objeto concretizado. Nesse sentido, a junção da realidade com processos cognitivos e psicológicos complexos fomentam a imaginação e, para Vygotsky (2009), criar algo é imaginação em atividade, acionada por impressões captadas pelas emoções e sentimentos dos indivíduos. Para o autor, a imaginação é também uma síntese resultante de uma leitura dos elementos da realidade, de um conhecimento experiencial e de memórias do indivíduo, o que se efetiva por uma capacidade combinatória, uma “capacidade de fazer uma construção de elementos, de combinar o velho de novas maneiras” (p. 17), uma vez que não se cria algo do nada.

O que a pesquisa de campo revelou foi que, para compreensão e diagnóstico do problema tratado, bem como para vislumbrarem uma possível solução, os estudantes utilizam diversas fontes de informação, que são processadas, imaginadas e traduzidas para a linguagem da engenharia em valores paramétricos, que serão manipulados no momento da experimentação, como podemos ver na FIGURA 28.

FIGURA 28 – A LEITURA DO ESPAÇO DO DESIGN



Fonte: elaborado pelo autor.

Ainda considerando a leitura do espaço, os problemas de projeto e a busca por compreendê-los e solucioná-los, o estudante se depara também com restrições de toda ordem, como restrições dimensionais e de segurança do protótipo (algumas estabelecidas pela competição); restrição em relação a recursos financeiros do projeto, custos de fabricação de determinados componentes e capacidade de fabricação própria de determinados componentes; restrições dimensionais (peso, tamanho e forma) estabelecidas pela própria equipe para diversos componentes e sistemas embarcados. Além disso, se depara com várias contradições técnicas (*tradeoffs*), como peso do protótipo versus eficiência e velocidade; resistência estrutural a cargas versus um protótipo mais leve; custo e tempo versus fabricabilidade na oficina ou encomenda a terceiros. Os estudantes enfrentam, ainda, os problemas indeterminados, que ocorrem quando o conhecimento disponível não explica as condições em que o problema ocorre, tampouco indica sua solução. Nesse caso, os problemas requerem maior atenção e investigação, além de dispararem a busca por soluções criativas, o que será efetivamente trabalhado na fase da experimentação e desenvolvimento da ideia inicial, quando os estudantes buscam tanto organizar o espaço do design e os problemas mal-estruturados quanto validar as hipóteses de solução.

O enfrentamento de problemas de design pode, num primeiro momento, fomentar uma leitura mais intuitiva, desvinculada de uma ponderação racional prévia. A intuição, segundo Kant (2007), é um modo de conhecimento advindo da sensibilidade e percepção direta e imediata do indivíduo em relação aos objetos da realidade, servindo de meio para a elaboração do pensamento e de conceitos. Trata-se de uma forma de reconhecimento de padrões e experiências passadas, processados no interior da consciência do indivíduo, o que lhe permite inferir e agir discricionariamente. A intuição, assim como a imaginação e o pensamento divergente, é importante em processos de criação, porém há que se ressaltar que, ao se enfrentar problemas indeterminados, impulsos intuitivos e palpites podem levar a enganos e erros na avaliação, o que pode gerar respostas e soluções não eficazes. Por isso, em engenharia, hipóteses de soluções devem passar por validação.

Um exemplo de leitura do espaço do design envolvendo um problema indeterminado e a idealização para sua solução é o caso da modelagem e dimensionamento da câmara de ar do *Steering Link* pneumático, cuja dimensão não estava especificada. Como relatado no capítulo anterior, o estudante Z, baseado em dados do *Steering Link* mecânico anterior, após a modelagem com base em equação matemática que relacionava as variáveis pressão de ar, diâmetro e área do êmbolo, comprimento do cilindro, volume de batentes, força aplicada e curso

de deslocamento do conjunto pistão-haste, chegou ao problema de que o volume de ar necessário para a câmara de ar configurava uma determinada área e diâmetro para a câmara, gerando uma diferença entre o diâmetro do conjunto pistão-haste (êmbolo) e o diâmetro interno da câmara, que não se encaixavam, não eram coincidentes.

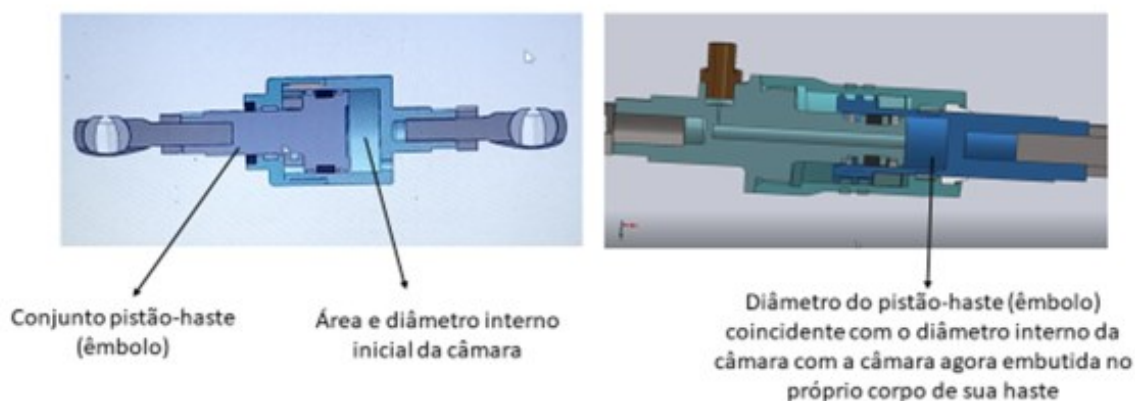
Portanto, na leitura da situação-problema no espaço de design, o estudante se deparou com: a) a informação prévia do SL mecânico, que serviu de base de comparação para simulações da modelagem matemática a fim de alcançar o volume de ar necessário ao funcionamento de um SL pneumático; b) o fato de esse próprio cálculo gerar uma informação adicional (volume de ar necessário), uma condição - ou restrição - para o diâmetro da área da câmara, para que fosse produzido o efeito esperado; c) a consequente constatação da diferença de diâmetros entre o êmbolo e a câmara de ar, levando à indeterminação de não se ter uma forma estabelecida que equalizasse tal diferença a ponto de permitir a funcionalidade e performance desejadas.

A solução imaginada pelo estudante baseou-se, então, no espaço do design, em sua experiência pessoal e em sua memória; por analogia, relacionou o problema a um mecanismo semelhante existente em bicicletas, porém também aplicável ao SL pneumático:

O que eu lembro é que eu pensei mais ou menos no amortecedor de bicicleta traseiro, que tem um conjunto mola amortecedor, só que ele é o contrário, tem um amortecedor e a mola pneumática dele fica por fora. Esse aqui é o contrário, eu nunca vi nada, por exemplo, com duas camadas concêntricas com uma mola pneumática por dentro. Foi bem na hora mesmo que eu pensei: “ah, vou inverter isso e ver como fica”. Aí deu certo [...]. Eu não sei como que isso surgiu na minha cabeça, um dia que eu estava pensando: “ah, vou esperar a inspiração vir” e aí, do nada, eu tive a ideia de mudar completamente a fixação aí[...]a ideia foi bem espontânea assim, eu invertei a câmara de lugar, eu passei a câmara para dentro dela e adicionei uma haste, um pistão partindo de onde era a tampa [...] agora a câmara é dentro (EST Z).

As modificações pensadas foram o reposicionamento da câmara, embutindo-a no próprio corpo de sua haste, o que tornou possível diâmetros coincidentes entre a câmara e o pistão-haste. Adicionalmente, o estudante removeu a tampa que prendia o pistão-haste, tornando o conjunto pistão-haste em uma tampa rosqueável no conjunto.

FIGURA 29 - REDIMENSIONAMENTO DA CÂMARA DO SL PNEUMÁTICO



Fonte: Estudos de modelagem feitos pelo Estudante Z.

O que é relatado pelo estudante como um insight, na verdade é uma informação captada pelas percepções e processada pela capacidade criadora de combinações a partir de material disponível na realidade, além de uma leitura dos elementos e condições apresentados na situação-problema. Para Vygotsky (2009, p. 36), isso não ocorre como uma compreensão súbita na mente, mas se desenvolve gradativamente, das formas mais elementares às mais complexas, isto é, pela reelaboração das partes para o todo, pelo processo de decomposição, associação e modificação dos próprios elementos envolvidos.

Esse percurso de idealização de uma solução - desde a identificação do problema, a leitura das condições de contorno e o processamento de informações diversas até a elaboração dos requisitos desejados em um artefato sintetizado - é consoante ao que Cross (2008) pontua como sendo um modo integrativo nos processos de design, quando o indivíduo explora o espaço do design, desenvolvendo tanto o campo do problema e seus elementos quanto o das possíveis soluções, de forma iterativa - a coevolução problema/solução -, criando uma ponte entre o problema inicial e os subproblemas derivados - no caso do SL pneumático, a diferença de diâmetros foi um subproblema derivado -, passando pelas subsoluções elaboradas e chegando às soluções sintetizadas, construindo, assim, uma ponte entre problema e solução, pela análise, desenvolvimento e síntese.

Um outro exemplo de ideação de uma solução a partir de leitura do espaço do design é o caso da modelagem do Mecanismo de Esterçamento Traseiro. Nesse caso, tal processo de desenvolvimento do conceito ocorreu, inicialmente, de forma mais coletiva. O estudante à frente da atividade da modelagem relata que tudo começa com conversas com membros da

equipe:

Se ficar desse jeito o que impacta para você, e para mim, [...] o que é mais importante [...] Tinha um mecanismo como esse [se referindo ao protótipo anterior], não tão complexo, não era igual, mas tinha o braço, o amortecedor, a manga, os tirantes, o raio da roda, tinha uma base anterior para melhorar [...] O Y [estudante] me ajudou a pensar onde ia encaixar cada peça; primeiro pensamos que esta mola [o SL] devia estar entre o chassi e a manga no cubo de roda, só que não [...] e se a mola ficasse ligando o braço principal no cubo de roda? Aí pensamos nisso. E onde isso vai ficar? A ideia inicial era que a mola ficasse do lado de fora do chassi e resolvemos depois que ficaria apertado (EST X).

O protótipo anterior serviu de base de transição, fornecendo parâmetros e informações diversas sobre os componentes do sistema de suspensão,⁴⁷ bem como os pontos de ancoragem de componentes no chassi para a composição do novo mecanismo. Nesse momento de leitura do espaço do design, também se avalia o que já deu errado e o que deu certo em termos de suspensão do protótipo anterior. À exceção de uns poucos esboços a mão, a construção do conceito foi praticamente feita no Solidworks e, nesse percurso, o estudante foi se deparando com os elementos constituintes do mecanismo e a imagem “vai surgindo, parece que você está compondo uma música [...] vai fazendo o desenho daqui e dali [...] imaginando o que estaria no lugar [...] aí, fiz o esboço da suspensão e depois projetar os componentes, a peça” (EST X). Ou seja, o estudante vai compreendendo e agregando os elementos, as partes a um todo, o que, ao final, gera uma geometria desejada em termos de forma, dimensões e funcionalidade.

Concomitantemente a esse exercício de leitura e composição do espaço do design, transcorre um exercício de especulação e investigação sobre como funcionaria tal mecanismo, o que envolveu pesquisas teóricas sobre tópicos relacionados e consultas a projetos externos semelhantes disponíveis. Como nos lembra Cross (2018), além do reenquadramento e da visão sistêmica ao lidar com o problema inicial, o processo do design em engenharia pode se iniciar pelos princípios científicos. Esse foi o caso do MET, cujo exercício de composição e idealização da geometria foi orientado, inicialmente, por princípios de funcionamento, com identificação das forças atuantes e dos braços de alavanca envolvidos no movimento⁴⁸ desejado das rodas e

⁴⁷ Informações sobre o raio da roda, a altura livre do veículo, o comprimento do braço de suspensão principal, o amortecedor e os tirantes, a geometria da manga, a bitola (distância entre rodas esquerda e direita), a distância entre eixos do centro das rodas dianteiras até às traseiras, o centro de gravidade do veículo, os braços de alavanca atuantes, o fato de ser uma suspensão do tipo multilink etc.

⁴⁸. *Mechanical trail* é relativo ao movimento longitudinal e o *scrub radius*, relativo ao movimento lateral.

quando atuam. Esse primeiro movimento desdobrou-se em várias questões complementares, como: as angulações necessárias; os graus de liberdade de travamento e liberação que geram o esterçamento, bem como os componentes envolvidos no travamento e liberação; as restrições espaciais para alocação de tais componentes e sua manutenibilidade; a estrutura construtiva nas condições de contorno, como interferências com outros mecanismos e subsistemas; a singularidade de ser uma suspensão multilink; as metas gerais estabelecidas para o novo protótipo (mais leve, mais veloz e com melhor retomada na realização de curvas, sendo essa última meta o objetivo de implantação do MET). Com esse conjunto de informações e questões iniciais referentes ao espaço do design, a solução pensada começa a tomar forma, de maneira que o artefato tenha um comportamento e realize uma função esperada.

Porém, o MET não é um mecanismo usual, “não se encontra na literatura equações definidas para descrever o comportamento, não se encontra pronto tal distância, tal tamanho, as variações dos parâmetros e os efeitos das variações” (EST X), ou seja, não há uma heurística pronta para a geometria. Assim, no processo de criação da solução da geometria do MET, mesmo com a coleta de todos os dados mencionados, considerando as diversas restrições e condições de contorno e mesmo considerando determinados princípios científicos de saberes disciplinares da Física e a dinâmica dos corpos, havia, principalmente, indeterminações com relação à exata grandeza das forças atuantes nos braços de alavanca e o consequente dimensionamento deles.

Nesse ponto da idealização da solução, o estudante é exposto à incerteza e compelido a agir intuitiva e discricionariamente; por isso ele chega a relatar que o “dimensionamento foi no *feeling* mesmo” (EST X), baseado em ponderações subjetivas e aproximações ao razoavelmente aceito, a fim de que o mecanismo funcionasse a contento. Para a questão da grandeza das forças atuantes que entram nas rodas e acionam o mecanismo, o estudante se baseou em testes de tração e força lateral realizados no protótipo anterior, que lhe forneciam uma estimativa da ordem de grandeza dessas forças, a partir das quais ele chegou “mais ou menos numa relação de quanto deveria ser o braço de alavanca” (EST X). No passo seguinte, ele atribuiu a medida dos braços de alavanca, sendo o braço de alavanca *mechanical trail* (que recebe a força longitudinal e promove o fechamento da roda) três vezes maior que o *scrub radius* (que recebe a força lateral e promove a abertura da roda). Para ele, esse dimensionamento garantiria o momento e torque no mecanismo capazes de realizar o movimento de compressão e descompressão da mola, fazendo a roda abrir e fechar ao realizar curvas e ao retornar em linha reta. Ou seja, o dimensionamento dos braços de alavanca e as forças de atuação no mecanismo

foram definidos diante de incertezas, baseados em estimativas e em informações imprecisas. E assim também o foi quanto ao estabelecimento do grau máximo de esterçamento, pois ele se questiona: “o quanto é demais, o quanto é de menos?” (Est X); nesse caso, ele decidiu discricionariamente, a partir de *benchmarking* no setor automotivo, estabelecendo X graus para a inclinação da roda.

Ou seja, no processo de ideação da geometria do MET a partir da leitura do espaço do design, as incertezas levaram o estudante a se amparar em ponderações subjetivas e aproximações ao que é relativamente conhecido ou com probabilidade de acertar ou, ainda, de se aproximar de um desempenho considerado satisfatório esperado, do que fazia sentido para ele, da sua intuição a partir dos elementos de que dispunha na situação projetual. A partir do espaço do design, pode-se amparar tanto em conhecimento experiencial - individual e coletivo - quanto disciplinar, o que permite o diagnóstico de necessidades e o exercício de ideação do desejado. Ou seja, há uma fase criativa a partir dessa leitura, que gera alternativas para os problemas postos no projeto.

O espaço do design fornece, então, a matéria prima com a qual o indivíduo imagina, intui e vislumbra possibilidades, trabalhando na construção de conceitos que serão colocados à prova, validados ou não pela experimentação. Nessa fase, o estudante também busca antecipar, simular, analisar, transformar e sintetizar elementos e formas, convertendo ideias em possibilidades de projeto, pela dinâmica das ações e manipulação de dados que levam ao detalhamento e desenvolvimento do artefato. Assim, a leitura do espaço é um primeiro diálogo com o problema, a situação e seus elementos, em um exercício recorrente, contínuo ao longo de toda a atividade da modelagem. Essa leitura apresenta-se intrínseca no momento da experimentação, permeando todo o processo, até a concretização de uma síntese adaptada como resultado de todo o processo de criação da solução. Esses dois casos, de desenvolvimento de um conceito de solução e das condições em que o artefato irá existir, mostram que, ainda na fase de leitura e organização dos elementos do espaço do design, há ocorrência de experimentação e que tal leitura permite explorar as possibilidades, adequando incertezas tanto em momentos de análise e de uso do conhecimento científico quanto em momentos discricionários, intuitivos e de imaginação, mesmo no universo da engenharia.

5.2 A Experimentação

O momento da experimentação é o momento da modelagem, quando o estudante põe à prova suas proposições iniciais de solução - hipóteses – e, para tanto, utiliza as informações de

que dispõe e/ou as que foram geradas a partir do espaço do design. Trata-se do momento do desenvolvimento da ideia com maior detalhamento e da construção de uma heurística para a solução ou mesmo de uma revisão da ideia inicial. A experimentação é o meio pelo qual o estudante manipula dados, o que permite o desenvolvimento da forma, estrutura e suas especificações, sua avaliação e validação; enquanto não são validadas - aceitas ou refutadas -, as ideias iniciais não passam de proposições.

A experimentação é, ainda, o momento de exploração de possibilidades e cada ação tomada é um experimento (SCHÖN, 2000); é pelo experimento que se pode avançar no desenvolvimento de um artefato. Com tal percurso, é possível adquirir um conhecimento sobre o próprio artefato e, ao passo que o estudante realiza a organização e a análise dos dados de que dispõe, seja pela modelagem matemática em termos da simulação de algum comportamento do artefato, seja pelo início do desenho em busca da forma da solução, ele realiza também o trânsito entre as dimensões do abstrato (a ideia de solução) e o concreto (BUCCIARELLI, 1996). Ou seja, nesse momento, o desenho é a representação do concreto, permitindo ao estudante refletir e elaborar outras possibilidades de intervenção no próprio percurso de desenvolvimento do artefato e, em última instância, descobrir combinações alternativas diante de um problema posto.

No caso do MET, quando o problema posto foi o de projetar um arranjo específico em termos de ângulos e medidas da geometria que possibilitasse o esterçamento desejado da roda traseira, o estudante pôs em marcha o exercício da composição nas várias versões que foi testando por tentativa. Ele foi experimentando possibilidades, comparando as metas dimensionais inicialmente previstas com efeitos de variações nos parâmetros envolvidos e, assim, modelando as condições em que o objeto técnico iria existir. Como vimos na FIGURA 4 da seção 4.3.1, para chegar à forma específica da geometria, o estudante simulou a compressão da mola no Solidworks e software projeta o deslocamento da roda em graus. Dessa forma, ele foi analisando as alterações e compondo a estruturação da geometria do MET, como explica a seguir:

Nesse esboço, eu vejo a suspensão trabalhando e aí eu vou avaliando como seria o desempenho, mesmo que precariamente, da suspensão [...] eu vejo o quanto a roda subiu e quanto o amortecedor comprimiu, vejo quanto variou de camber, em função do quanto comprimiu a suspensão ou o quanto variou o esterçamento com a suspensão [...] eu fui aprendendo o que eu podia definir nesta fase do projeto [...] mudava os pontos e ia testando o desempenho (EST X).

Ou seja, a experimentação é também um momento de ajustes ao que se pretende como resultado da solução. Para o estudante, a geometria do MET

[...] foi muito baseada em tentativa e erro, só que eu adotei uma estratégia: primeiro fiz o esboço goals, ele não altera as dimensões, a altura livre, por exemplo, está fixada. Aí, criava uma cópia e estabelecia cotas para os outros componentes [...] depois os acréscimos dos outros subcomponentes; eu determinava uma cota para dimensão das coisas que devem ser fixas [...] adotei a estratégia de fazer testes; por exemplo, mudava a distância tal da altura de um ponto, aí testava, fazia 5 esboços, 5 tentativas. Aí tinha uma planilha com os efeitos e aí ia ajustando as medidas para outras versões, para outros fatores. Se aumento o ganho de camber, altura livre, altura do roll center, bitola, aí, pra alcançar o que eu queria, teria que ir alterando alguns pontos [...] fui comparando as versões com as metas... dessas versões, várias foram testes, para ver as influências das alterações; algumas versões falharam. Se alguma coisa dava interferência, tinha que ir alterando... eu fui testando cada dimensão dessa que não era goal e fui tentando otimizar a geometria (EST X).

Esse processo de ajustes na experimentação implica no descarte ou desconsideração das hipóteses que não atenderam ao desejado e, nesse percurso, o estudante vai gerando novas versões de desenhos. Isso é normal em um processo iterativo de design, no qual o indivíduo aceita ou recusa uma hipótese, dando continuidade ao processo projetual de desenvolver uma solução pela experimentação. Em outras palavras, o indivíduo avalia e ajusta suas próprias ações em versões posteriores, derivando suas escolhas em termos da

[...] deseabilidade de suas consequências, julgadas em categorias oriundas de domínios normativos do projeto, em termos de sua conformidade ou violação das implicações estabelecidas por ações anteriores e em termos de sua apreciação de novos problemas ou potenciais que elas tenham criado (SCHÖN, 1998, p. 59).

Portanto, é por meio da experimentação com os elementos do espaço do design - geralmente traduzidos para valores paramétricos manipuláveis - que o estudante vai explorando e descobrindo combinações possíveis para a forma e estrutura das possíveis soluções. Ainda sobre o MET, um caso distinto de experimentação foi a escolha da rigidez da mola, peça que compõe o SL mecânico e, apesar de não ser projetada e fabricada pela equipe, tem um efeito direto sobre o comportamento do MET. Esse componente comprime e descomprime, gerando o movimento de abertura da roda, ou seja, sua especificação faz parte da modelagem da solução. Após a definição da geometria geral do MET e a fabricação das peças envolvidas (o SL, o link, o BSP e os tirantes), a escolha da mola foi feita com base em um experimento real de

funcionamento do MET, realizado ainda no chassi do protótipo anterior (pois o chassi do protótipo daquele ano ainda não estava totalmente pronto). Esse experimento forneceu a informação necessária sobre a mola, esclarecendo as propriedades de rigidez e elasticidade necessárias. O estudante relata que

[...] a rigidez da mola foi bem experimental, a mesma relação de forças que eu usei para definir os braços de alavanca vão influenciar na mola, vão atuar na roda, esta mesma estimativa de forças ajudou a ter uma dimensão da rigidez da mola [...] comprou uma mola testou e já compramos molas diferentes pra testar e ver qual seria melhor [...] pra ver se funcionava mesmo, os componentes, os braços de alavanca, se a homocinética aguentava trabalhar nessa condição. Esse teste foi a virada de chave pra gente ter a segurança para definir que nosso carro ia ser desse jeito [...] a rigidez foi trocada, a menos rígida ficou melhor. Nesse nosso nível de competição é muita coisa experimental, muita coisa que não tem uma base de dados vasta pra se basear, então o feedback do piloto é muito importante [...] com a mola menos rígida, fica mais fácil da roda esterçar; então, para uma menor aceleração lateral, eu já vou ter o esterçamento da roda; se faço a curva devagar, a 10 km por hora, o mecanismo não entra em ação, porque a força não é suficiente para acionar ele. Agora, quando a 25 por hora fazendo a curva, aí sim... com a mola menos rígida poderia estar a 20 que já acionaria (EST X).

Naquela ocasião, foram testadas molas com diferentes coeficientes de rigidez, com o feedback do piloto (o usuário) com relação a quesitos qualitativos referentes a dirigibilidade, conforto e manobrabilidade. Ou seja, houve também espaço para a inserção de critérios não técnicos, como a sensibilidade do piloto na direção e condução do protótipo, o que contribuiu na definição de uma solução técnica: a especificação da mola que seria usada.

Outro tipo de experimentação utilizada nas ciências, na engenharia e, obviamente, na equipe BAJA UFMG é a modelagem matemática vista no caso do SL pneumático, descrito na seção 4.3.2. O estudante operacionaliza a manipulação de dados paramétricos envolvidos, buscando simular e antecipar condições e comportamentos do artefato elaborado, a fim de alcançar uma especificação da câmara de ar necessária ao funcionamento do mecanismo. Nesse caso, a modelagem matemática subsidia e/ou condiciona a configuração da forma e estrutura construtiva do artefato. Naquela ocasião, a experimentação gerou um subproblema: a diferença de diâmetros, o que levou o estudante a buscar “reenquadrar o problema” (NICKEL et al, 2022), vendo-o de forma distinta. Por meio de seu conhecimento experiencial, da analogia e da intuição, gerados a partir da própria situação, ele relacionou o problema e sua solução ao amortecedor de bicicleta e, assim, pôde imaginar e expandir os limites do domínio onde se encontrava o problema e as possibilidades de solução.

Esse percurso de desenvolvimento da ideia de solução na experimentação pode envolver a revisão da própria ideia inicial ou esse reenquadramento do problema de forma distinta, pelo uso do pensamento divergente, como fez o estudante Z. Isso permite ao indivíduo - de forma consciente ou não - transitar ou buscar alternativas em áreas de domínio não diretamente atreladas ao problema tratado, o que é inerente ao processo do design. Como nos lembra Cross (2008, p. 194), para a geração de conceitos e alternativas de soluções, o processo de design pode se iniciar com a predominância de um pensamento divergente. Mas, de forma geral, no processo de modelagem, experimentação e construção de uma solução, predomina, ao longo do percurso, o pensamento convergente, analítico e baseado em saberes disciplinares, que permitem ao indivíduo avaliar, selecionar e sintetizar uma proposta de solução viável. No momento da experimentação, esses modos de pensamento ou raciocínio - divergente e convergente - se fazem presentes e, pelo fluxo de questionamentos, analogias, inferências, análises, deduções e sínteses, operacionalizam a transformação das ideias iniciais (AKILI, 2019), fomentando a criação de novas possibilidades criativas.

A experimentação configura um percurso investigativo do problema, suas características e seus elementos constituintes, permitindo ao estudante interpor condições, antecipar e simular impactos de suas escolhas, a fim de explorar as possibilidades e permitir a tomada de decisão quanto ao melhor caminho ou à melhor forma a dar à solução desejada. Dessa maneira, ele faz a síntese entre a ideia inicial e a concretização do artefato ou a viabilidade de sua propositura. Assim, a experimentação como dimensão da modelagem de uma solução pode ser sumarizada na FIGURA 30. Ressaltamos que os resultados da experimentação passam a fazer parte do espaço do design como conhecimento adquirido no próprio processo, assim como podem fazer retroceder à experimentação. Isso se deve à natureza iterativa do processo de design, quando podem surgir “subproblemas” ou novas restrições e indeterminações, as quais abrem espaço para novas experimentações.

FIGURA 30 - A DINÂMICA DAS AÇÕES NA EXPERIMENTAÇÃO



Portanto, a experimentação é o momento no qual, pela manipulação, análise e avaliação de informações do espaço do design, o estudante busca lidar e minimizar incertezas e restrições de toda ordem. Busca antecipar as relações entre elementos constituintes do problema e as condições de contorno, bem como o comportamento do artefato em elaboração, ou seja, busca antecipar as condições de existência da solução proposta. E, finalmente, ao considerar suas próprias ações e escolhas feitas neste percurso - sejam elas objetivas e/ou subjetivas, individuais ou coletivas -, busca construir uma heurística entre a solução desejada na idealização, quando da primeira leitura do espaço do design, e a solução possível de ser concretizada.

5.3 A Adaptação

A experimentação é um exercício de organização da informação do espaço do design, que se dá quando o estudante constrói um percurso, uma heurística, de modo a alcançar uma forma para a solução, para sua estrutura em termos de seus elementos constituintes, bem como de sua relação com as condições de contorno. Como resultado desse exercício, é alcançado o momento – que, na verdade, é o resultado de um processo - de sintetizar a forma da solução, que configura-se em uma adaptação da ideia inicial. Podemos considerar esse momento como uma “concretização” temporária, visto que sempre há espaço para melhorias nos artefatos, que nunca estão acabados e estão sempre em “processo de individuação” (SIMONDON, 2005).

Nesse processo, como nos lembra Alexander (1964), o estudante busca ir além dos *tradeoffs* básicos de performance, simplicidade, integração e economicidade; busca atribuir sentido ao resultado de seu trabalho, ao passo que alcança uma forma para a solução que esteja coerente com os elementos constituintes do problema, com os requerimentos suscitados na

idealização ou mesmo que surgiram durante a experimentação, mas que, fundamentalmente, seja uma solução que tenha uma forma em resposta a uma função desejada.

No Projeto BAJA UFMG, no momento da modelagem, o estudante busca sintetizar o processo da experimentação que, anteriormente, pelo fluxo do pensamento divergente e também o analítico e convergente - baseados na racionalidade e nos saberes disciplinares -, o levaram a eliminar, minimizar ou mesmo suplantar restrições, interferências e indeterminações encontradas durante a experimentação. A adaptação, como um resultado da atividade da modelagem, pode ser considerada um ajuste “final”, a síntese de um processo de desenvolvimento, de uma ideia para a solução de um problema de design, concretizada em uma forma, um artefato possível, fabricável, funcional. Esse é o problema do design em geral, pois “desejamos conceber formas bem adaptadas para um dado contexto mas para ser possível tais formas devem se colocar em subsistemas independentes de variáveis” (ALEXANDER, 1964, p. 73), que precisam estar organizadas ou equacionadas em suas diferenças, Isso leva à estabilidade entre seus elementos - as partes -, dando uma unidade construtiva ao artefato, ou seja, quaisquer soluções criadas para um problema precisarão ser adaptadas no percurso da consolidação da solução àquilo que é factível e adaptado às interdependências dos elementos e fatores constitutivos do “todo”.

A modelagem da geometria do MET mostrada na FIGURA 1 da seção 4.3.1 é um caso de solução adaptada aos elementos constituintes e às condições de contorno. Durante o desenvolvimento da ideia na experimentação, o estudante se deparou com restrições e possíveis interferências de elementos do entorno, problemas que precisaram ser tratados, equacionados e sintetizados na configuração da solução. Fatores como o dimensionamento inicial desejado da bitola (distância entre as rodas de um mesmo eixo); a consequente geração de uma condição restritiva na angulação de trabalho da junta homocinética; a também consequente incompatibilidade espacial entre o link (peça de ligação entre a manga de eixo e o SL) e a homocinética, impactando o dimensionamento do link e suas condições de existência tiveram que ser considerados na composição sintética do artefato MET. O desejo inicial da equipe era reduzir a bitola traseira do protótipo para cerca de 1000 mm; com a modelagem, foi detectado que uma bitola estreita causaria aumento de ganhos cinemáticos - ganhos de camber, convergência e divergência das rodas -, o que tornaria o protótipo direcionalmente mais instável e teria impacto negativo no funcionamento da *junta homocinética* (uma bitola estreita causa menor angulação de trabalho da junta, com possível fadiga e ineficiência). Por isso, ao final do exercício da modelagem, a equipe decidiu por uma bitola com 1170mm, o que também

impactou no dimensionamento do *link*, que precisou ser mais longo exatamente para não esbarrar na homocinética e desgastá-la. Mais tarde, após o uso do mecanismo em competição, esse ponto de junção revelou-se frágil, passível de trincas (devido à tensão de cargas atuantes não detectadas no cálculo estrutural), e por isso foi reprojeto no ano seguinte.

Dessa forma, o estudante vai lidando com as incompatibilidades que emergem durante o desenvolvimento do artefato, buscando suplantá-las, pois é nelas “que reside a articulação de limites cuja transposição constitui um progresso” (SIMONDON, 2005, p. 66). Esse é um caso exemplar, em que a geometria do MET foi ganhando identidade ao longo do percurso da modelagem, mas sua concretização ficou sujeita à resolução de “tensões”, interferências e restrições dos elementos constituintes da geometria. Nesse sentido, a solução concretizada é uma adaptação às condições, tanto do entorno quanto aquelas impostas pelos próprios elementos que a constituem, mas que, ao final, geram uma nova unidade ou identidade do artefato, ainda que temporária (SIMONDON, 2005).

Outro caso de adaptação da forma da solução é o que resultou do processo de desenvolvimento da polia motora da CVT PR7-03, como relatado na seção 4.3.3. Frente ao objetivo de otimização de desempenho da CVT existente, em termos de torque e velocidade do protótipo, os estudantes buscaram tanto reduzir tamanho, peso e custo do mecanismo quanto melhorar a manutenibilidade. É importante ressaltar que a idealização de um artefato começa na leitura do espaço do design, na identificação do problema, nos requerimentos desejados, passando pela exploração e experimentação de possibilidades. Assim, a concretização da solução é a síntese de um processo e, no caso acima, a forma da solução foi, desde o início, condicionada ao conceito de eficiência, de desempenho por massa. Em outras palavras, a solução deveria estar acoplada e adaptada a esse princípio e, como o estudante argumentou, cumprindo a função, a polia motora poderia ser leve, precisando de menos força para fechar e abrir o conjunto de polias, sendo preferível um componente leve a um pesado.

Por isso, a síntese da forma da polia motora é o resultado de um processo de redução de peso - retirada de material - da peça, cuja forma final foi se adaptando à condição de que não houvesse pontos críticos ou fragilidade estrutural que pudesse levá-la a romper, trincar ou se deformar ao receber tensões de carga, cumprindo sua função com confiabilidade e segurança. Aqui, novamente a modelagem matemática⁴⁹ - usada como ferramenta para explorar as possibilidades da forma - subsidiou e condicionou a configuração da forma da solução,

⁴⁹ Estudantes utilizam estudos de Cálculo Estrutural por meio do método de elementos finitos, visando identificar potenciais áreas de tensão na geometria da peça.

propondo as adaptações necessárias quando foram localizados pontos críticos na estrutura da peça que, neste caso, eram condições de contorno. Assim, a configuração da forma da peça foi gradativamente se adaptando nas diversas versões que o estudante ia sintetizando a cada passo do processo de concretização do artefato, como podemos ver na FIGURA 31, que mostra as versões CVT PR7-03, de 2018, e a PR7-04, de 2019.

FIGURA 31 - EVOLUÇÃO DA POLIA MOTORA CVT PR703 À PR704



O processo de resolução de um problema de design em engenharia, como reprojeter a polia da CVT que poderíamos considerar como o processo de concretização de um artefato técnico, é, segundo Simondon (2005), viabilizado por ciclos iterativos de transformações que se operacionalizam pela remodelagem de elementos, estruturas e funções. Ao “final”, esses ciclos iterativos levam a uma autocorrelação entre os elementos constitutivos - como os pontos de fragilidade, a resistência do material, a localização do furo de fixação do parafuso e mesmo os pontos dos quais o estudante retirou material -, que formam uma estrutura lógica coerente ou correspondente. Desse modo, há uma harmonização ou acomodação entre eles, de suas diferenças, interferências e restrições de toda ordem, a fim de conferir estabilidade tanto com relação aos próprios elementos constitutivos quanto às condições de contorno e ao contexto mais amplo, levando a uma convergência desses fatores, à transformação da ideia inicial e à síntese de uma solução adaptada. O processo de criação de uma forma para a solução se dá, então, quando se resolve um sistema de relações e interações de forças conflituosas - atributos dos elementos constituintes do próprio artefato ou do contexto maior - inerentes ao processo de design (ALEXANDER, 1964). No caso em questão, os pontos de fragilidade estrutural da peça

eram as forças conflituosas frente às intenções de modificações propostas pelo estudante.

A síntese da forma em uma solução para um artefato (ALEXANDER, 1964) é consoante ao processo de individuação do artefato técnico (SIMONDON, 2005), pois essas duas visões incorporam o processo de organizar os elementos constituintes de um objeto com seu entorno, relacionando-os, estabilizando diferenças, contornando ou minimizando restrições, superando as indeterminações, encontrando a forma e até mesmo a matéria física apropriadas para determinada solução. E são esses fatores que, em última instância, configuram o aspecto e as dimensões que fazem o objeto em sua identidade e singularidade.

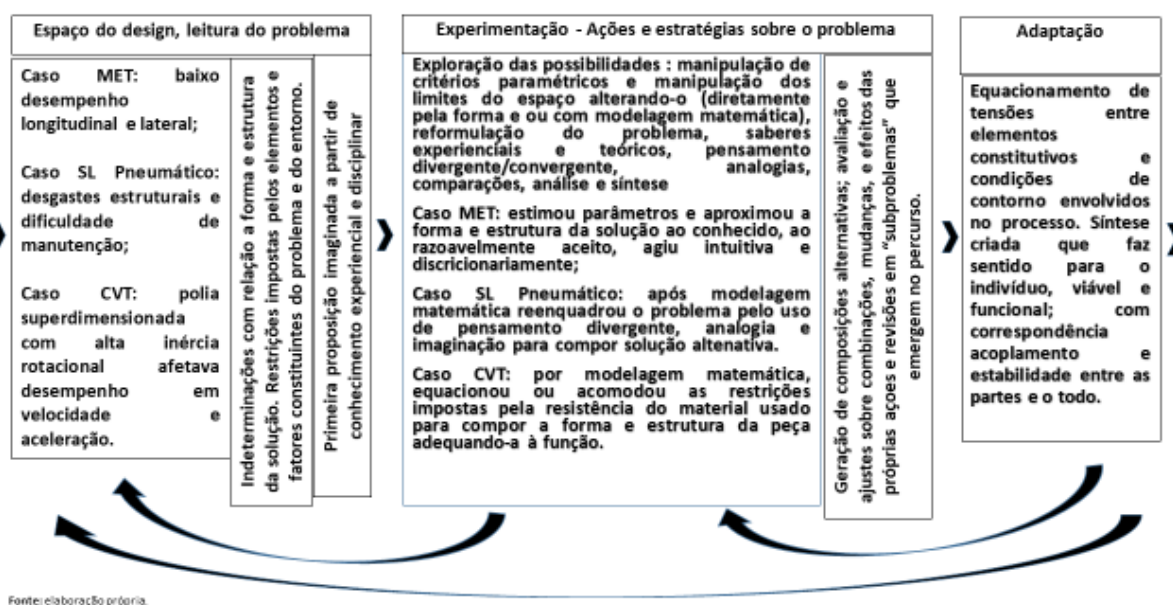
De maneira que, no momento da modelagem, os estudantes são compelidos a elaborar uma adaptação que configure uma solução, tanto em termos de um conjunto lógico de elementos quanto em relação às funções desejadas pelo indivíduo para tal solução, gerando uma síntese factível e funcional. As soluções vão se desenvolvendo e se adaptando ao que é possível e esse processo se consubstancia e se configura pela análise e síntese. Na visão de Simondon (2005), a dimensão analítica é vinculada a uma necessidade lógica ao que já é conhecido pelo estado da técnica e da ciência e, por outro lado, a dimensão sintética é vinculada “à introdução de um elemento novo [que age] sobre a maneira de ser da totalidade, mas deve se conformar sobre as novas leis da totalidade resultante” (SIMONDON, 2005, p. 322). Ou seja, a criação por síntese é uma recombinação de elementos que altera a ordem, mas ainda assim acoplada e compatível à necessidade. Assim, a solução adaptada carrega em si uma correspondência entre o desejado e o possível, integrados em uma solução coerente, que não existia em etapas precedentes (SIMONDON, 2005, p. 337) e que, ao mesmo tempo, concebe uma identidade ao objeto técnico ou ao que ele pode se tornar, uma vez que o processo de individuação não acaba.

5.4 Resumo das Ações Tomadas nos Três Casos Relatados e Relações Entre as Categorias

No percurso configurado, a atividade da modelagem se efetiva pelas categorias de análise - o espaço do design, a experimentação e a adaptação - e a relação entre elas é perpassada pela reflexão na ação: reconhecer “o quê” é o problema, avaliar “como” construir a solução e ajustar a solução ao “porquê” faz sentido para o indivíduo e para as justificativas que embasam a concretização do artefato. Essa reflexão na ação é operacionalizada por análise e síntese desde as primeiras conjecturas e ideias difusas, ainda na leitura do espaço do design. Dadas as análises fundamentadas nos relatos de desenvolvimento dos artefatos, o percurso da modelagem pode, então, ser sumarizado no diagrama abaixo, FIGURA 32.

Há uma relação direta entre o que é realizado no momento da experimentação - ações realizadas dependerão efetivamente da leitura que o estudante faz a cada situação - e o espaço do design. A experimentação depende das informações coletadas - elementos, suas características, fatores, condições - e fornecidas como matéria prima pelo espaço do design ou mesmo aquelas já inicialmente e provisoriamente elaboradas. Ao mesmo tempo que o espaço do design oferece material e o que é possível de se experimentar, também ele pode ser alterado pelos resultados da experimentação, pois ela pode gerar novos subproblemas, que passam a fazer parte do campo de trabalho e, portanto, precisariam ser reelaborados e reavaliados em outro ciclo de experimentação, como um retorno da experiência em forma de conhecimento sobre o problema.

FIGURA 32 - RESUMO DOS CASOS E PERCURSO DA MODELAGEM



A adaptação, por sua vez, sendo uma síntese da experimentação, depende diretamente das ações realizadas no exercício de exploração de possibilidades e validação das proposições. Desse modo, a experimentação, por seus diversos percursos e estratégias, é o que determina o que é possível de ser sintetizado em uma solução adaptada. Mas soluções criadas podem suscitar novas experimentações, dada a natureza iterativa presente na atividade de design, na qual sempre reside uma incompletude dos artefatos, sempre há espaço para melhorias e soluções concretizadas podem retornar ainda ao momento da experimentação.

Finalmente, a solução adaptada como resultado de todo o processo só é possível pela existência dos elementos, fatores e condições do espaço do design, mas o espaço do design

passa a incorporar e é expandido pelas soluções criadas no artefato e pelo conhecimento gerado sobre o problema e suas condições de contorno.

A relação das categorias presentes no processo da atividade da modelagem de uma solução em design pode ser pensada como uma relação de causalidade que ocorre em ciclos de transformação sobre uma proposição inicial e seu desenvolvimento, sendo esse processo o que permite um resultado configurado em uma solução técnica de aprimoramento. É esse tripé das categorias que possibilita o exercício do design, onde o estudante encontra “zonas indeterminadas da prática” (SCHÖN, 2000, p.39) onde o saber disciplinar não explica a ocorrência de problemas dando margem e fomentando a capacidade combinatória e o florescimento de processos criativos, decorrentes do processo investigativo que suscita. O enfrentamento de situações-problema permeadas de limitações, singularidades e indeterminações transformam a experiência formativa em uma experiência de aprendizagem significativa e, no longo prazo, favorece que o futuro engenheiro desenvolva uma “prática habilidosa” (SCHÖN, 2000), com uma visão integradora entre os elementos do problema e as contingências do contexto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

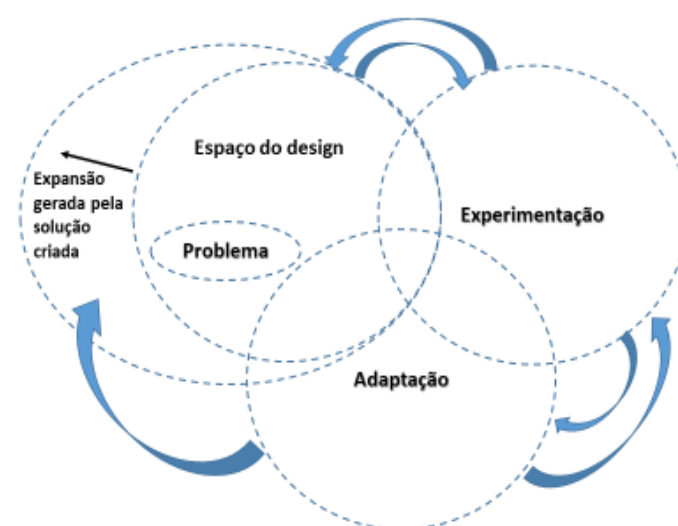
A questão inicial e sensibilizadora que motivou esta pesquisa foi compreender o processo de desenvolvimento de soluções de aprimoramento de artefatos técnicos elaborados pelos estudantes atuantes no Projeto BAJA UFMG, como aprendizes de engenharia. Essa experiência formativa envolve o “fazer técnico” no universo da engenharia mecânica, com o intuito de desenvolver e construir um protótipo de veículo, por meio do processo projetual e do design em engenharia, passando pela fabricação e teste em provas reais. Essa é uma atividade complexa, que diz respeito a idealizar uma solução, buscar validá-la e sintetizar proposições em artefatos funcionais. A experiência possibilita a aplicação prática de conhecimentos teóricos, mas também propicia o desenvolvimento de conhecimento experiencial advindo da própria vivência prática ao lidar com os desafios, restrições de toda ordem e indeterminações a que o projeto está sujeito. Esses fatores são essenciais para uma formação efetiva em engenharia, que não seja aquela baseada somente em pensamento analítico e saberes disciplinares, mas uma formação em engenharia mais criativa.

Nesse percurso, os estudantes são expostos à prática do design em engenharia e foi sobre o núcleo da atividade da modelagem de soluções que esta pesquisa se debruçou. O ponto de partida foi a atividade efetivamente realizada no nível do indivíduo, quando ele é estimulado a explorar possibilidades e converter situações e problemas, muitas vezes indeterminados, em soluções coerentes.

Os três casos que compuseram a pesquisa de campo são representativos, pois buscaram agregar algo novo ao protótipo. O estudo possibilitou uma análise qualitativa da atividade do design em engenharia, atendendo ao objetivo geral de compreender como, a partir do desenvolvimento de um artefato técnico, com a presença de restrições e indeterminações de toda ordem, pode-se fomentar uma engenharia criativa; a longo prazo, isso significaria potencializar a formação e o desenvolvimento de um engenheiro criativo. Adicionalmente, consideramos que os objetivos específicos foram alcançados, uma vez que a pesquisa de campo buscou fazer um mapeamento da experiência projetual e, a partir de entrevistas e da história do desenvolvimento de três artefatos - MET, SL Pneumático e componentes da CVT -, relatadas pelos estudantes diretamente envolvidos, foi possível analisar a atividade, identificando os elementos, as condições e os fatores intervenientes ao processo da modelagem, bem como identificar e analisar as ações efetivamente realizadas pelos estudantes no processo projetual e na concretização de ideias em soluções de design.

Como consequência, foi possível estabelecer três campos ou dimensões da atividade como categorias de análise - o espaço do design, a experimentação e a adaptação -, que nos permitiram elaborar uma resposta ao objetivo da pesquisa. A experiência da modelagem pode, então, ser compreendida pela confluência das atividades presentes nesses três processos - a leitura do espaço do design, o exercício da experimentação e a concretização de uma ideia em uma solução adaptada -, bem como pode ser compreendida como resultante da relação entre as categorias, conforme mostra a FIGURA 33.

FIGURA 33 – O PROCESSO DA MODELAGEM E RELAÇÃO ENTRE CATEGORIAS



Fonte: Elaboração própria.

Todo o processo se inicia no encontro do estudante com os problemas e desafios do projeto presentes no espaço do design, quando ele busca compreender e coletar informações tanto sobre o problema enfrentado quanto sobre as contingências do entorno e os saberes disciplinares envolvidos. Mas o estudante também se ampara no conhecimento experiencial acumulado pela equipe sobre o protótipo e no conhecimento experiencial individual, que inclui sua formação prévia, além de suas memórias e experiências passadas.

A experimentação, por sua vez, visa tanto a simular condições de existência de elementos e fatores – e suas relações - que constituem o artefato almejado em termos de requerimentos quanto a explorar novas possibilidades a partir das proposituras inicialmente vislumbradas ou daquelas geradas por meio de diversas estratégias no próprio processo da experimentação. Essas proposituras, se validadas na experimentação, possibilitam a concretização de uma solução adaptada às condições de existência impostas pelas

características dos elementos, materiais e pela relação entre esses elementos. Constituintes do problema e do entorno, esses elementos são, ao final, harmonizados, acomodados e, de certa forma, estabilizados em uma unidade estável e singular, que é o artefato criado. Tal processo promove uma expansão do espaço do design, como resultado de um retorno da experiência, tanto pelo artefato criado quanto pelo conhecimento relacionado construído no percurso.

A riqueza da experiência projetual está na exposição do estudante a restrições de toda ordem, problemas mal-estruturados e indeterminações, e esta exposição gera momentos difusos no processo que podem - de forma consciente ou não - ativar sua imaginação, a intuição e a capacidade combinatória. Essa possibilidade, aliada a uma autonomia para explorar possibilidades por meio da leitura do espaço do design ou da experimentação, permite ao estudante elaborar conjecturas e, assim, dar continuidade à modelagem. Esse processo é operacionalizado por análise e síntese intrínsecos à reflexão na ação - reconhecer, avaliar e ajustar (SCHÖN, 2000) - e viabiliza a elaboração de novas proposições e combinações desvinculadas de pressuposições anteriores. Tais hipóteses, se validadas, se transformam em algo novo, em soluções adaptadas às situações e restrições, até mesmo suplantando as indeterminações e restrições iniciais presentes no processo de design.

A pesquisa de campo revela que a indeterminação, a imaginação e a intuição presentes no processo do design são extremamente importantes, funcionando como um gatilho no processo de busca e elaboração de novas proposições e soluções, embora não sejam, por si só, determinantes para um bom resultado final. Indeterminações podem permanecer insolúveis, como, por exemplo, não saber a força exata que aciona o MET. No entanto, a falta dessa resposta não impediu a elaboração, pois o estudante adotou a estratégia de estimações, comparações e aceitação do razoavelmente satisfatório. Por sua vez, a imaginação e a intuição, ao mesmo tempo que produzem hipóteses, podem ser conjecturas que induzem ao engano, à falha, ao erro. Esse é o caso de propor uma bitola mais estreita para o protótipo, mas que causaria interferência na junta homocinética ou de desejar retirar material de uma determinada área de uma peça e a proposta não ser aprovada no Cálculo Estrutural por apresentar risco de rompimento. Por isso, em se tratando de engenharia, há a preponderante preocupação em experimentar e validar hipóteses, com o propósito de tanto minimizar erros – que são fatores do processo de aprendizagem e também do processo de design - quanto de se construir soluções estáveis e funcionais. Indeterminações, imaginação e intuição são importantes, são fatores do processo, mas não garantem que uma solução imaginada seja concretizada.

Aqui vale ressaltar que não foi intenção desta pesquisa avaliar a criatividade atribuída

aos artefatos gerados e sim avaliar as ações e o processo de construção das soluções. Entretanto, mesmo com restrições e indeterminações, entraves inerentes ao processo do design, as soluções relatadas na pesquisa de campo foram elaboradas, as restrições e indeterminações foram suplantadas e soluções foram implementadas, à exceção do SL Pneumático, que foi projetado, mas, por uma decisão da equipe, não foi implementado (o que não desabona o trabalho de criação).

Assim, dadas as categorias de análise que emergiram da pesquisa de campo - o espaço do design, a experimentação e a adaptação - e considerados todos os demais apontamentos sobre o processo do design em engenharia presentes no Projeto BAJA UFMG, esta pesquisa defende a tese de que, a partir do processo da modelagem de um artefato técnico, é possível associar, derivar e potencializar a formação em uma engenharia mais criativa. Para além da predominância do pensamento analítico e da racionalidade técnico-científica da engenharia, a atividade desenvolvida abre espaço para a autonomia do estudante na condução do processo investigativo deflagrado no tratamento dos problemas enfrentados, bem como promove o acionamento de saberes experienciais, incluindo a intuição e a capacidade combinatória da imaginação. Esse processo pode levar o estudante a gerar proposições de mudanças às contingências do contexto, representar e experienciar as condições de existência da solução ou mesmo concretizar a solução em uma síntese, o que, em última instância, pode ser considerado o processo criativo na engenharia.

Assim como em qualquer área, no design em engenharia, a criatividade é resultante de processos complexos e pode ser compreendida exatamente como um processo em que o indivíduo transforma algo e sobressai diante de certas limitações e indeterminações impostas pelas situações, manipulando e gerando novas possibilidades com o que está disponível no espaço de trabalho, adaptando-o e tornando-o concreto, fabricável e funcional. O engenheiro criativo - no nosso caso, o aprendiz de engenheiro - é aquele que constrói, com visão integrada, os meios de transformação entre o artefato desejado e o possível, factível. Potencialmente, a criatividade emerge do próprio fazer e elaborar uma mudança possível é inerente à atividade humana. A busca por sanar as necessidades e tensões da realidade prática disparam um processo de investigação, diagnóstico, manipulação, suposições, hipóteses, estimativas, testes, retestes, modificações que, em última instância, geram uma solução, uma descoberta (TORRANCE, 1965) ou um aprimoramento, investidos em uma solução criativa. Nesse sentido, a criatividade emerge do próprio processo do design e uma solução criada deve se adaptar aos seus elementos constituintes e às condições de contorno.

Considerando os limites deste trabalho, dada a especificidade do tipo de pesquisa - uma pesquisa qualitativa baseada em estudo de casos que geralmente são únicos - e também por necessidade de estreitar a abordagem ao problema de pesquisa, adotamos como estratégia o foco nas entrevistas com três estudantes que efetivamente conduziram individualmente projetos distintos de aprimoramento de componentes e mecanismos do protótipo. Assim, a ênfase foi na atividade no nível do indivíduo, o que não se apresenta como um problema ou possa ser considerado um limite da pesquisa, visto que, ao investigarmos o processo da modelagem de soluções, investigamos questões essenciais do processo de design em engenharia bem como questões relativas à formação do engenheiro.

As demandas coletivas e as diferenças de visões entre os membros discutidas em reuniões de equipe foram, ao final, captadas pelo estudante que efetivamente elaborou os artefatos. No Projeto BAJA UFMG, o estudante tem relativa autonomia na condução da atividade da modelagem e suas propostas de mudanças devem ser integradas ao projeto maior, isto é, ao projeto do protótipo como um todo, pois todas as decisões de projeto são tomadas pelo coletivo. Ressaltamos que essa instância de decisão também pode ser considerada uma restrição mais ampla do contexto do projeto, agregando as noções de integração e contingências a que as propostas de mudanças devem se adaptar.

Um ponto importante a ser ressaltado é o fato de que uma experiência projetual não é modelizável; trata-se de uma atividade complexa, não linear e sujeita a diversos fatores intervenientes. Por mais que se pretenda mapeá-la, colocando-a sob escrutínio, cada projeto é um projeto diferente, com especificidades e percursos distintos, assim como as experiências dos indivíduos, uma vez que suas percepções dos problemas e do contexto são subjetivamente captadas. Por isso, como bem apontado por Schön (2000), não há como ensinar projeto; o indivíduo deve viver um projeto em todas as suas dimensões. E é isso o que acontece com a experiência de aprendizagem e o processo de aquisição de habilidades envolvidos em um processo formativo e projetual como o Projeto BAJA UFMG. Nele, a experiência de aprendizagem é diretamente vinculada ao engajamento do estudante na atividade; trata-se de uma experiência genuinamente individual. Por isso, não foi objeto desta pesquisa mensurar e avaliar a aprendizagem, tampouco habilidades e competências, pois há uma dificuldade empírica para tal (SCHWARTZ, 1998; GRIMONI et al, 2012, p. 102). Além disso, dado o relativo pouco tempo de vivência no projeto – por tratar-se de uma experiência voluntária, sem regras relativas ao período de permanência -, provavelmente o estudante não sairá desse processo como um engenheiro designer expert em projetar componentes de um veículo. O

processo de aquisição de habilidades que permite ao indivíduo agir de forma fluída, intuitiva e holística não é regular e linear, demandando um tempo de maturação e experiência para compreensão e reflexão situacional de problemas complexos (DREYFUS; DREYFUS, 2012).

A despeito da falta de experiência, o aprendiz de engenharia, ao iniciar a aprendizagem de uma prática em engenharia, “aprende suas convenções, seus limites, suas linguagens e seus sistemas apreciativos, seu repertório de modelos, seu conhecimento sistemático e seus padrões [de trabalho]” (SCHÖN, 2000, p.39). No caso do projeto BAJA, essa experiência significa uma exposição próxima a uma imersão nas condições reais da prática profissional. Assim, considera-se que o aprendiz segue processos parecidos aos do engenheiro profissional, mas sem as pressões do mundo real do trabalho, como alto desempenho e o não cometimento de erros. Erros e falhas fazem parte do processo de aprendizagem tanto quanto fazem parte do processo de criação de uma solução de design. Ao promover a reflexão sobre as possibilidades, eles ampliam o campo de visão do estudante e, a partir daí, retroalimentam e mobilizam o capital criativo nas iterações inerentes ao processo da modelagem.

De qualquer forma, a experiência no Projeto BAJA UFMG proporciona ao estudante uma iniciação – uma introdução do aprendiz à prática da engenharia – que lhe trará uma bagagem de conhecimento teóricos e práticos que o acompanhará em seu futuro exercício profissional.

O Projeto BAJA UFMG propicia uma rica experiência de aprendizagem, pois é uma vivência prática em um projeto real e a ênfase está no aprender fazendo. O estudante é o protagonista do processo, conduzindo, ele próprio, uma experiência de descobertas e de autonomia no universo da engenharia, incluindo a descoberta vocacional dentro da área da engenharia. Nesse sentido, a vivência no projeto dá abertura para ele experimentar subáreas de interesse inseridas no projeto do protótipo, como os subsistemas de *powertrain*, cálculo estrutural, suspensão e direção, freios, eletrônica, design e até a área gerencial. O estudante também pode, a partir dessa experiência, escolher uma trajetória de formação curricular no curso de engenharia, como automotiva, manutenção, mecatrônica, projeto e fabricação, energia e utilidades.

Esta pesquisa não inclui nenhuma intervenção prática no projeto BAJA UFMG, portanto sua contribuição é de ordem complementar, apresentando questionamentos recorrentes - e ainda em aberto na literatura em Design -, que dizem respeito ao entendimento de como as indeterminações afetam a progressão das ações no decurso do desenvolvimento de artefatos (CASH, KREYE, 2017). Como mencionado, argumentamos que as indeterminações são

importantes gatilhos das ações do indivíduo no processo do design, embora não sejam definidoras do resultado concretizado em uma solução adaptada. Uma solução é sempre resultante de multifatores interdependentes - elementos e condições de contorno às vezes conflitantes - e não somente das incertezas iniciais.

A partir do artigo de Nickel; Duimering; Hurst (2022), que discutia como o indivíduo designer manipula, define, enquadra ou altera a estrutura do problema no espaço do design sob a presença de tradeoffs, em nossa pesquisa, trouxemos a abordagem dos autores, mas para verificar o tratamento dado pelo indivíduo quanto à presença de indeterminações. Assim, verificamos que no tratamento às indeterminações, para minimizá-las, contorná-las ou suplantá-las, são utilizadas diversas estratégias aliadas a análise e síntese como visto na FIGURA 32, e adicionalmente, poderíamos citar: 1) a leitura do espaço, com o acionamento da capacidade combinatória da imaginação proveniente da percepção do indivíduo em relação aos dados da realidade (caso da solução pensada para o SL Pneumático); 2) a adoção de manipulações paramétricas – e nesse caso estamos de acordo com os apontamentos dos autores citados - e simulações na fase de experimentação (como fez o estudante na análise e comparação de efeitos na variação de parâmetros para a definição do grau de esterçamento do MET); 3) a progressão gradual da forma sujeita à função do objeto, baseada na modelagem matemática (como visto na configuração da polia da CVT).

Outra contribuição possível, como resultado desta pesquisa, é um retorno para o projeto BAJA UFMG, como um feedback aos estudantes, conscientizando-os de suas práticas ao desenvolverem soluções técnicas para artefatos e fomentando a compreensão do processo do design, dos desafios, elementos, fatores e questões essenciais envolvidos na atividade; fomentando, no horizonte de formação, uma melhor *design ability*, configurada como habilidade transversal envolvendo uma forma de pensar e atuar em situações projetuais e de design, como mencionada por Cross (2008).

Vale ressaltar que o projeto BAJA UFMG, é oportunizado como uma Atividade Complementar, como algo acessório à formação, ou seja, é uma experiência formativa extraordinária, não sendo um componente curricular formal do curso de engenharia. Como já mencionado, tal experiência é consoante à abordagem da pedagogia e da aprendizagem ativa por meio da qual o estudante ao resolver problemas e construir projetos de forma reflexiva, pragmática e experimental, descobre conteúdos, desenvolve habilidades, (re)constrói e absorve conhecimentos pelo aprender fazendo em interação com o contexto (DEWEY, 1979); a vivência no projeto BAJA pelo estudante favorece a incorporação de toda a noção de integração

e contingências que as atividades de um projeto de design em engenharia ensejam bem como a incorporação de saberes diversos teóricos e práticos capacitando-os, no futuro em seus percursos profissionais, a atuarem em desenvolvimento de produtos, e projetos de qualquer natureza, porte e complexidade. Adicionalmente, tal abordagem formativa é consoante ao ensejado nas DCN para as engenharias no que tange ao que se espera dos egressos em termos de formação em conteúdos básicos, profissionais e específicos bem como o desenvolvimento de habilidades e competências que possibilitem aos estudantes compreender fenômenos, conceber e projetar soluções, verificar, validar e implantar soluções, isto é, saberes e técnicas relativas à atividade da engenharia aliada à autonomia crítico-reflexiva, atitude investigativa e tomada de decisões, visão holística e humanista, atuação inovadora e empreendedora, trabalho em equipe, criatividade para resolver problemas, dentre outros atributos. Entretanto, para os cursos de engenharia em geral, as DCN também representam um grande desafio e para suplantá-lo haveria necessidade de ajustes e mudanças significativas no processo educativo nas dimensões do ensino e da aprendizagem, em projetos político pedagógicos dos cursos, suas condições objetivas, recursos materiais e estruturais em termos de organização curricular e formas de avaliação, e mesmo a postura de educadores no que tange a adoção e alinhamento de práticas pedagógicas, caso se busque adequar experiências formativas como o projeto BAJA às práticas de ensino-aprendizagem acoplados às disciplinas diversas, seus planos de ensino ou ainda na forma de projetos interdisciplinares. Ao trabalhar o desenvolvimento e criação de soluções para problemas indeterminados, em um contexto de aprendizagem e de design em engenharia, experiências como o projeto BAJA oportunizam tanto uma aprendizagem significativa quanto criativa para o estudante, indo além de uma aprendizagem ou treinamento reprodutor de saberes já estabelecidos (BEGHETTO, 2021), assim, ao mesmo tempo que tal experiência é recomendável, no sentido de se estender a amplitude de projetos como esse, haveria necessidade de alinhamentos à estrutura do curso e dos mediadores pedagógicos envolvidos para o melhor aproveitamento do ponto de vista formativo.

Como futuro trabalho, derivado desta tese, fica o desejo e a intenção de realizar uma pesquisa com egressos do Projeto BAJA UFMG, a fim de avaliar o impacto da experiência vivida em suas práticas profissionais. Acreditamos que essa experiência agrega uma capacidade de integrar e transformar ideias, assim como transforma o que seria uma formação tradicional em engenharia em uma engenharia criativa.

REFERÊNCIAS

ABDOLI, S., KARA, S. A review of modelling approaches for conceptual design of complex engineering systems. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT*, 2017, Singapore. **Proceedings** [...] Singapore, 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8290096>. Acesso em: 20/10/2020.

AKILI, W. On engineering design learning: thoughts, challenges, and realities. ASEE Annual Conference and Exposition, 126th, 2019, Tampa/USA. **Proceedings** [...] Tampa/USA. Disponível em: <https://peer.asee.org/collections/2019-asee-annual-conference-exposition>. Acesso em: 20/05/2020.

ALEXANDER, C. **Notes on the synthesis of form**. Massachusetts/USA: Harvard University Press. 1964.

ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa**. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2002.

ARMSTRONG, P. **Bloom's Taxonomy**. Center for Teaching. Vanderbilt University. 2016. Disponível em: <https://cft.vanderbilt.edu/guides-sub-pages/blooms-taxonomy/> Acesso em 07.06.16.

BEGHETTO, R.A. Creative learning in education. *In: KERN, M.L., WEHMEYER, M.L. (eds). The palgrave handbook of positive education*. Palgrave Macmillan, Cham, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-64537-3_19#citeas. Acesso em: 10/07/2021

BEKKER, D., SMIT, M. Case integrated design skills & knowledge. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND PRODUCT DESIGN EDUCATION*, 21st, 2019, Glasgow. **Proceedings** [...] Glasgow/UK, 2019. Disponível em: <https://www.designsociety.org/publication/42235/CASE+INTEGRATED+DESIGN+SKILLS+%26+KNOWLEDGE>. Acesso em: 20/10/2020.

BODEN, M.A. **The creative mind, myths and mechanisms**. 2 ed. New York / USA: Routledge, 2005.

BOGDAN, R.C., BIKLEN, S.K. **Investigação qualitativa em educação**. Porto/Portugal: Porto, 1994.

BROWN, J. S., DUGUID, P. Organizational learning and communities of practice: toward a unified view of working, learning and innovation. **Organization Science**, v.2, n.1, p.40-57, 1991.

BRUNER, J.S. Culture, mind and education. *In: _____ (org.) The culture of education*. Cambridge/Massachusetts/USA: Harvard University Press, 1996, p.1-43.

BRUNER, J.S. **Uma nova teoria da aprendizagem**. Rio de Janeiro: Bloch Editores, 1969.

BUCCIARELLI, L. L. **Designing engineers**. Cambridge, Massachusetts/USA: MIT Press, 1996.

BUCCIARELLI, L. L. **Engineering philosophy**. Delft / Netherlands: Delft University Press, 2003.

CASENOTE, I. E. **Construção de competências em design orientadas para inovação: proposta de matriz para relacionar profissionais em formação nas etapas front-end dos processos de desenvolvimento de artefatos**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Design, Porto Alegre, Brasil, 2018.

CASH, P. J., MAIER, A. (2021:2). Understanding Representation: Contrasting Gesture and Sketching in Design Through Dual-Process Theory. **Design Studies**, 73(March). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/349058539_Understanding_representation_Contrasting_gesture_and_sketching_in_design_through_dual-process_theory. Acesso em: 02/11/2021.

CASH, P. J., KREYE, M. Uncertainty driven action model: a foundation for unifying perspectives on design activity. **Design Science**, 2017, vol. 3, e26. Disponível em: <http://journals.cambridge.org/dsj>. Acesso em 10/03/2022.

CASH, P.J., KREYE, M. Exploring uncertainty perception as a driver of design activity. **Design Studies**, 2018, v.54, 50-79. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142694X17300716?via%3Dihub>. Acesso em: 20/01/2019.

CHARMAZ, K. **A construção da teoria fundamentada, guia prático para análise qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

CONSELHO NACIONAL DE EDUCAÇÃO. **Resolução CNE/CES/2/2019, aprovado em 24 de abril de 2019**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais do Curso de Graduação em Engenharia. Diário Oficial da União, Brasília/DF, 23 de abril de 2019.

COSTA, F.A, IGLIORI, S.B.C. Estudo da periodicidade a partir da modelagem matemática à luz da teoria da aprendizagem significativa. **Revista de Produção Discente em Educação Matemática**, v.7, n. 1. 2018. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/pdemat/issue/view/1858>. Acesso em: 15/06/2020.

CROPLEY, D. H. et al. (2017). Creativity in the engineering domain. *In*: J. Kaufman, V. P. Glaveanu, and J. Baer (Eds.). **The Cambridge Handbook of Creativity Across Domains**. New York, NY: Cambridge University Press. Chapter 15, (pp. 261-275).

CROSS, N. Developing design as a discipline. **Journal of Engineering Design**. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09544828.2018.1537481>.

CROSS, N. **Design thinking; understanding how designers think and work**. Oxford/UK: Berg, 2011

CROSS, N., CHRISTIAANS, H., DORST, K. Introduction: the Delft protocols workshop. *In: CROSS, N., CHRISTIAANS, H., DORST, K. (eds). **Analysing design activity**. Sussex/England: Wiley & Sons, 1996.*

CROSS, N., CROSS, A.C. Expertise in engineering design. **Research in Engineering Design**, 1998 (10), 141-149. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01607156>. Acesso em: 15/04/2019.

CROSS, N., DORST, K. Creativity in the design process: co-evolution of problem-solving. **Design Studies**, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X01000096>. Acesso em: 20/05/2019.

CROSS, N. Creative thinking in design: an introduction. In: Symposium on Science of Design. 2008, Arcata/USA. **Proceedings** [...] Arcata/USA, 2008. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1496630.1496632>. Acesso em: 11/10/2019.

DEMO, P. **Educar pela pesquisa**. 8 Ed. Campinas/SP: Autores Associados, 2007.

DEWEY, J. **Arte como experiência**. São Paulo: Martins Fontes, 2010.

DEWEY, J. **Como pensamos: como se relaciona o pensamento reflexivo com o processo educativo, uma reexposição**. São Paulo: Ed. Nacional, 1979.

DONIN, N., THEUREAU, J. A composição de um movimento de Voi(rex): da ideia formal à estrutura. Trad. Michelle Agnes Magalhães e Alexandre Siqueira de Freitas. **Opus**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 115-148, set. 2015.

DORST, K., CROSS, N. Creativity in the design process: co-evolution of problem-solution. **Design Studies**, v.22, n5, Set/2001.

DREYFUS, H.L., DREYFUS, S.E. **Expertise Intuitiva, para além do pensamento analítico**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2012.

ENGESTROM, Y. Activity theory and individual and social transformation. *In: ENGESTROM, Y., MIETTINEN, R., PUNAMAKI, R. **Perspectives on activity theory**. Cambridge/UK: Cambridge University Press, 1999.*

EASTMAN, C. **New directions in design cognition: studies of representation and recall. Design knowing and learning cognition in design education**. 2001. pg. 147-198. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080438689500085?via%3Dihub>. Acesso em 20/02/2022.

ESTATUTO. **Estatuto da Equipe BAJA UFMG**. Belo Horizonte: UFMG, 2021.

FERNANDEZ, C.O., LOPES, R.D., GRIMONI, J.A.B., ZANCUL, E.S., Ensino de projeto do produto: análise de abordagem multidisciplinar com foco em criatividade para inovação em contextos reais. **Gestão & Tecnologia de Projetos**. São Carlos, v.12, n.1, p.85-95.

FINLAY, J. P., PAPWORTH, A. Embedding creativity in engineering degree programmes. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND PRODUCT DESIGN EDUCATION*, 21st, 2019, Glasgow. **Proceedings** [...] Glasgow/UK, 2019. Disponível em: <https://www.designsociety.org/publication/42235/CASE+INTEGRATED+DESIGN+SKILLS+%26+KNOWLEDGE>. Acesso em: 20/09/2020.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GADOTTI, M. **História das ideias pedagógicas**. São Paulo: Ática, 1999.

GARDNER, H. **Inteligências múltiplas, a teoria na prática**. Porto Alegre: 2000.

GARUD, Raghu; GEHMAN, Joel; KUMARASWAMY, Arun; TUERTSCHER, Philipp. From the process of innovation to innovation as process. *In: LANGLEY, Ann; TSOUKAS, Haridimos (eds). The SAGE Handbook of Process Organization Studies*. London: Sage, 2017.

GERO, J.S. Design prototypes: a knowledge representation schema for design. **AI Magazine**, v.11, n.4, 1990. Disponível em: <https://ojs.aaai.org/aimagazine/index.php/aimagazine/article/view/854>. Acesso em: 10/08/2020.

GRIMONI, J.A.B. et al. Aprendizagem ativa na educação em engenharia. *In: OLIVEIRA, V.F.et al. (Orgs.). Desafios da educação em engenharia: vocação, formação, exercício profissional, experiências metodológicas e proposições*. Brasília/Blumenau: ABENGE/EdiFURB, 2012. p. 60-111.

HATCHUEL, A., WEIL, B. A new approach of innovative design: an introduction to CK theory. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN*, 2003, Stockholm/Sweden. **Proceedings** [...] Stockholm, 2017. Disponível em: <file:https://www.semanticscholar.org/paper/A-NEW-APPROACH-OF-INNOVATIVE-DESIGN-%3A-AN-TO-C-K-Hatchuel-Weil/>. Acesso em: 20/10/2020.

HERR, C. M. Design is construction, construction is design. **The Journal of Design, Economics and Innovation**. v. 5(4), 2019, p.368-369. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346548612_Design_Is_Construction_Construction_Is_Design/link/60371291a6fdcc37a84dae55/download. Acesso em: 01/02/2020.

HERNÁNDEZ, F. **Transgressão e mudança na educação: os projetos de trabalho**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

HOUDÉ, O. Aprendizagem. *In: ZANTEN, A.V. (Org.) Dicionário de educação*. Petrópolis, RJ: Vozes, 2011.

JOIE-LA MARLE, C. et al. **A systematic review of soft skills taxonomies: descriptive and conceptual work**. 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/361808034_A_Systematic_Review_of_Soft_Skills_Taxonomies_Descriptive_and_Conceptual_Work. Acesso em 10/07/2022.

KAMOCHE, Ken; CUNHA, Miguel Pina E. Minimal structures: From jazz improvisation to product innovation. **Organization Studies**, v. 22, n. 5, p. 733-764, 2001.

KANT, Immanuel. **Crítica da razão pura**. São Paulo: Ícone, 2007. 541 p.

KELLY, A.E., LESH, R.A., BAEK, J. Y. (Orgs.). **Handbook of design research methods in education: innovations in science, technology, engineering, and mathematics learning and teaching**. New York: Routledge, 2008.

KUHN, Thomas S. (1982 [1961]) Normal measurement and reasonable agreement. *In*: BARNES, B., EDGE, D. (eds.). **Science in Context**. Cambridge: MIT Press.pp.75-93.

LAUFF, C.A. et al. What is a prototype? What are the roles of prototypes in companies? **Journal of Mechanical Design**, 2018, 140(6). Disponível em: <https://asmedigitalcollection.asme.org/mechanicaldesign/article-abstract/140/6/061102/376338/What-is-a-Prototype-What-are-the-Roles-of?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 10/03/2020.

LAVE, J., WENGER, E. **Situated learning, legitimate peripheral participation**. Cambridge/UK: Cambridge University Press, 1991.

LÉVI-STRAUSS, C. **O pensamento selvagem**. São Paulo: Papyrus, 3a ed., 2008.

LODER, L.L. **Engenheiro em formação: o sujeito da aprendizagem e a construção do conhecimento em engenharia elétrica**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Educação, 2009, Porto Alegre/RS.

LORUSSO, M., ROSSONI, M., COLOMBO, G. Conceptual modeling in product design within virtual reality environments. **Computer Aided Design & Applications**. 2021, v.18(2), P. 383-398.

MINAYO, M.C. S. et al. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 1996.

METCALF, G. S. Design and the modeling relation. **The journal of design, economics and innovation**, v.5 (4), 2019, p.373-376

MORIN, E. **A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. 17a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

NICKEL, J., DUIMERING, P. R., HURST, A. Manipulating the design space to resolve tradeoffs: theory and evidence. **Design Studies**, v.79, n.C, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142694X22000151#!>. Acesso em: 05/04/2022.

OLIVEIRA, M.R.N.S. Mudanças no mundo do trabalho: Acertos e desacertos na proposta curricular para o Ensino Médio (Resolução CNE 03/98). Diferenças entre formação técnica e formação tecnológica. **Educação & Sociedade**, ano XXI, n. 70, abril/00, pg. 42.

OLIVEIRA, V. F. Crescimento, evolução e o futuro dos cursos de engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**. V. 24, n.2, p. 3-12, 2005.

PERRENOUD, P. **Construir as competências desde a escola**. Porto Alegre: Artmed, 1999.

PETROSKI, H. **A evolução das coisas úteis: cliques, garfos, latas, zíperes e outros objetos do nosso cotidiano**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editora, 1992.

PETROSKI, H. **Invention by design; how engineers get from thought to thing**. Massachusetts/USA: Harvard University Press, 1996.

PIAGET, J. **Fazer e compreender**. São Paulo: Melhoramentos Editora da Universidade de São Paulo, 1978.

PEIRCE, C.S. **The collected papers of Charles Sanders Peirce**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1994. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5165117/mod_resource/content/0/The%20Collected%20Papers%20of%20Charles%20Sanders%20Peirce%20%282904s%29.pdf. Acesso em: 10/03/2019.

REGULAMENTO ADMINISTRATIVO E TÉCNICO BAJA SAE BRASIL, 2018.

RELATÓRIO DE PROJETO EQUIPE BAJA UFMG, 2018.

RELATÓRIO DE PROJETO EQUIPE BAJA UFMG, 2019.

RELATÓRIO DE PROJETO EQUIPE BAJA UFMG, 2020.

REY, B. **As competências transversais em questão**. Porto Alegre: Artmed, 2002.

SAINT-ARNAUD, Y. La réflexion-dans-l'action, un changement de paradigme. **Recherche et formation**. 2001, v.36, p.17-27.

SANTOS, C.A.M. et al. Sócio-construtivismo e o uso de metodologias ativas de aprendizagem no ensino de engenharia. In: OLIVEIRA, V.F., TOZZI, M.J., LODER, L.L. (Orgs.). **Desafios da educação em Engenharia; formação em engenharia, capacitação docente, experiências metodológicas e proposições**. Brasília: ABENGE, 2014. p.89-152.

SCHÖN, D. A. **Educando o profissional reflexivo, um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2000.

SCHWARTZ, Y. Os ingredientes da competência: Um exercício necessário para uma questão insolúvel. **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 19, n. 65, p. 101-140, Dec. 1998. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-73301998000400004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 01/07/2020.

SENNET, R. **O artífice**. Rio de Janeiro: Record, 2020.

SCHAATHUN, H. Where Schön and Simon agree: the rationality of design. **Design Studies**, v.79, n.C, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X22000102>. Acesso em: 15/06/2022.

SIMON, H. A. The structure of ill structured problems. **Artificial Intelligence**. 1973, n4, pg.181-201. Disponível em: <https://ojs.unbc.ca/index.php/design/article/viewFile/1273/1090>. Acesso em 01/07/2019.

SIMON, H. A. **The science of the artificial**. Massachusetts/USA: Massachusetts Institute of Technology, 1996.

SIMONDON G. **l'invention dans les techniques, cours et conférences**. Éditions du Seuil: 2005. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br>. Acessado em: 15/01/2021.

SKABURSKIS, A. The origin of wicked problems. **Planning Theory & Practice**, 2008, vol.9, n2, 277-280.

SOUZA, A.C.G., PINTO, D.P., PORTELA, J.C.S. Lei de diretrizes e bases da educação e diretrizes curriculares nacionais para a engenharia. *In*: PINTO, D. P., NUNES, R.P., OLIVEIRA, V.F. (Org.). **Educação em engenharia, evolução, bases e formação**. Juiz de Fora: Fórum Mineiro de Engenharia de Produção – FMEPRO Editora, 2010, p. 35-53.

SOUSA, S.O. **Blended online PBL: uma abordagem blended learning para uma aprendizagem baseada em problemas e organizada em projetos**. 2015. Tese (Doutorado) – UNESP, Presidente Prudente, SP.

TAROZZI, M. **O que é grounded theory: metodologia de pesquisa e de teoria fundamentada nos dados**. Petrópolis/RJ: Vozes, 2011.

THEUREAU, J. **O curso da ação, método elementar**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2014.

TORRANCE, E. P. Scientific view of creativity and factors affecting its growth. **Daedalus**, v.94(3), 1965, 663-681. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/20026936>. Acesso em: 12/10/2019.

VINCK, D. (org.). **Engenheiros no cotidiano**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2013

VYGOTSKY, L.S. **A formação social da mente; o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. São Paulo: Martins Fontes, 2010.

VIGOTSKI, L.S. **Imaginação e criação na infância; ensaio psicológico, livro para professores**. São Paulo: Ática, 2009. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4987977/mod_resource/content/1/Imaginacao%20e%20criacao%20na%20infancia%20caps%201%20e%202.pdf. Acesso em: 20/03/2019.

WISNER, A. Understanding problem building: ergonomic work analysis. **Ergonomics**, 1995, v.38, no 3, 595-605. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5526903/mod_resource/content/1/1995%20WISNER%20-%20PROBLEM%20BUILDING.pdf. Acesso em: 20/07/2018.

YIN, R.K. **Estudo de caso, planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

ZAVADIL, P., SILVA, R. P., TSCHIMMEL, K. Modelo teórico do pensamento e processo criativo em indivíduos e em grupos de design. **Design & Tecnologia**, n. 12, 2016, p1-19.

ZARIFIAN, P. **Le travail et l'événement; essai sociologique sur le travail industriel à l'époque actuelle**. Paris: Éditions l'Harmattan, 1995, p. 7-57.

ZARIFIAN, P. **Objetivo competência, por uma nova lógica**. 1a. ed. 5 a reimpr. São Paulo: Atlas, 2012.

ZHOU, C. Fostering creative engineers: a key to face the complexity of engineering practice. **European Journal of Engineering Education**. Vol.37, n.4, august 2012, 343-353. Disponível: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03043797.2012.691872>. Acesso em 11/07/2020.

APÊNDICE 1 – AMOSTRA DE ENTREVISTA E CODIFICAÇÕES

PESQ - O que é o MET, e o SL é só uma mola?	Codificação inicial	Intermediária	Codificação focalizada
<p>Est X - “...o projeto em si é muito mais que a mola, tem toda uma geometria envolvida ali que faz com que o mecanismo funcione, porque se eu pegasse uma geometria de suspensão de algum veículo anterior e colocasse uma mola aqui, provavelmente não ia funcionar porque tem vários parâmetros que garantem que o mecanismo funcionasse e a roda girasse para o lado certo no momento certo, a quantidade certa...</p> <p>...os encaixes eu não vi em lugar nenhum, veio da minha cabeça...o Y (estudante) me ajudou a pensar onde ia encaixar cada peça, primeiro pensamos que esta mola devia estar entre o chassi e a manga no cubo de roda, só que não ...vai dar problema...e se a mola ficasse ligando o braço principal no cubo de roda aí pensamos nisso, e onde isso vai ficar...a ideia inicial era que a mola ficasse do lado de fora do chassi e resolvemos depois que ficaria apertado...”</p>	<p>Ideia de um aparato maior que o componente em si composto de parâmetros visando o cumprimento de uma função.</p> <p>Valores paramétricos</p> <p>Ele elaborou a composição sem um modelo prévio + Trabalho colaborativo na idealização</p> <p>Especulação de possibilidades</p> <p>Problema = disposição espacial, empacotamento e interferências em componentes do powertrain. Integração com outros elementos do entorno</p>	<p>Percepção e ideia de partes que compõem um todo</p> <p>Funcionalidade</p> <p>Exercício da composição</p> <p>Trabalho em equipe</p> <p>Exploração</p> <p>Condições de contorno</p>	<p>Visão de sistema</p> <p>Funcionalidade Valores paramétricos</p> <p>Síntese</p> <p>Trabalho em equipe</p> <p>Experimentar</p> <p>Condições de contorno</p> <p>Visão integradora da forma</p>

PESQ - Como você fez?	Codificação inicial	Intermediária	Codificação focalizada
<p>Est X - “...não sabíamos como fazer...aí fui pesquisar, na verdade antes de pesquisar a gente reunia eu e mais outros colegas, a gente pensou e sabe quando vai surgindo, parece que você está compondo uma música, vai...vai fazendo o desenho daqui e dali e vai funcionar assim.</p> <p>...quando vimos o [mecanismo] da FEI tentamos entender, deve funcionar assim, assim...fiquei a noite inteira pesquisando, foi só usando os conceitos, para onde as forças atuam para onde estão apontadas, quando ela vai atuar....</p> <p>...para projetar, a geometria usamos o Solid, o esboço 3d, é muito complexo, são linhas que representam os componentes...inicialmente fiz só com linhas, um rascunho e imaginando o que estaria no lugar, tem os registros no computador... aí fiz o esboço da suspensão, e depois projetar os componentes, a peça...</p> <p>...fui olhar em livro, livros de dinâmica veicular, tem a disciplina mas eu não fiz não, aprendi tudo no Baja, tem</p>	<p>Curiosidade/motivação</p> <p>Colaboração</p> <p>Agregação de elementos</p> <p>Exercício de especulação</p> <p>Decomposição de elementos da forma</p> <p>Imaginação, construir uma ideia, antever algo.</p>	<p>Curiosidade</p> <p>Trabalho em equipe</p> <p>Exercício da composição</p> <p>Investigação/análise e conjecturas</p> <p>Dar forma a ideia, antecipação</p> <p>Racionalidade tecno-científica</p>	<p>Curiosidade</p> <p>Trabalho em equipe</p> <p>Síntese</p> <p>Antecipação</p> <p>Análise</p> <p>Idealizar/Modelar/Projetar</p> <p>Conhecimento Explícito</p>

<p>Introdução a Tecnologia Automotiva, essa eu fiz...mas não trata de nenhum destes conceitos e então fui pesquisar por conta própria, em livro, internet...o que eu buscava achar seria os conceitos, os princípios que deveriam reger o funcionamento do mecanismo porque eu não iria achar uma informação precisa, tipo coloca tantos graus de carster, etc... tanto...etc...tem a especificidade de cada veículo e situação...então esperava achar informações tipo conceituais...achei pouca coisa...a única informação que foi útil foi, específico de outros exemplos de mecanismo de esterçamento foi uma ideia de quantos graus eu podia esterçar de roda traseira...</p> <p>...a gente fazia reunião...se ficar desse jeito o que impacta para você, e para mim,...o que é mais importante, a gente debatia e chegava a uma conclusão...a gente teve que agregar conhecimentos de dinâmica veicular, tínhamos esboços...da suspensão do 18 (protótipo anterior) tinha um mecanismo como este, não tão complexos, não era igual mas tinha o braço, o amortecedor, a manga, os tirantes, o raio da roda, tinha uma base anterior para melhorar, o baja funciona assim, pega o anterior, vê o que deu errado e o que deu certo, como foi feito e toma como base.</p> <p>...foi muito baseada em tentativa e erro, só que eu adotei uma estratégia, primeiro fiz o esboço goals, ele não altera as dimensões, a altura livre por exemplo está fixada, aí criava uma cópia e estabelecia cotas para os outros componentes, primeiro o esboço goals depois os acréscimos dos outros subcomponentes, eu determinava uma cota para dimensão das coisas que devem ser fixas...adotei a estratégia de fazer testes, por exemplo, mudava a distância tal da altura de um ponto, aí testava, fazia 5 esboços, 5 tentativas, aí tinha um planilha com os efeitos e ai ia ajustando as medidas para outras versões, para outros fatores, se aumento o ganho de camber, altura livre, altura do roll center, bitola, ai pra alcançar o que eu queria teria que ir alterando alguns pontos, fui comparando as versões com as metas. Ah...quantos graus vai virar, tive que pesquisar valores de referência. E achei alguma coisa sobre grau de esterçamento... dessas versões várias foram testes, para ver as influências das alterações, algumas versões falharam, se alguma coisa dava interferência tinha que ir alterando...tive muitas dúvidas, a ponto de chegar no final e ficar com dúvida se a roda iria virar para o lado certo..."</p> <p>EST X - ...não tinha uma referência exata em que se basear, só o que vi da outra equipe, tinha algumas coisas que eu pude aproveitar de projetos anteriores algumas coisas que não eram parecidas, eu fiquei bastante tempo fazendo a geometria, e quando foi para modelagem tive que ficar voltando na geometria para consertar, foi isso, falta de referência para se basear, não encontrei muita coisa para seguir...</p> <p>PESQ - Questionado sobre o que ele observou nos momentos de composição e o que significaria o "daqui e</p>	<p>Saberes disciplinares</p> <p>Pesquisa individual, disposição para busca, curiosidade</p> <p>Funcionamento de mecanismo de Imprecisão de informações Singularidade do protótipo (suspensão multilink)</p> <p>Sentido de interdependência</p> <p>Histórico construtivo da equipe</p> <p>Exercício comparativo</p> <p>Estratégia usada - tentativas</p> <p>Experimentações com hipóteses de soluções. Estabelecimento de metas. Comparações. Manipulação de dados Tradeoffs, outros</p> <p>Fatores Projetuais Tradeoffs - decisões de projeto</p> <p>Falhas e interferência</p> <p>Incertezas</p> <p>Problema indeterminado</p> <p>Concomitância da ideação e modelagem Vaivém entre modelagem de componentes e modelagem da</p>	<p>Curiosidade</p> <p>Funcionalidade Incerteza</p> <p>Condição de contorno.</p> <p>Visão de sistema</p> <p>Saber da experiência coletiva</p> <p>Comparação e análise</p> <p>Experimentação</p> <p>Compatibilizaçã o</p> <p>Trade offs</p> <p>Decisões na experimentação, otimizações</p> <p>Incompatibilida de, Incerteza</p> <p>Indeterminação</p> <p>Remodelagem</p>	<p>Curiosidade</p> <p>Funcionalidade Problema indeterminado Condições de contorno</p> <p>Integrar / integração</p> <p>Conhecimento experiencial</p> <p>Avaliar</p> <p>Experimentar</p> <p>Ajustes</p> <p>Condições de contorno de Otimização</p> <p>Disfuncionalidade, Incerteza</p> <p>Indeterminação</p> <p>Reprojetar, iterações</p>
--	--	--	---

<p>dali” a que ele se refere no primeiro encontro, ele responde:</p> <p>EST X - ...a gente pensava no que era preciso para o mecanismo funcionar de fato com o esterçamento da roda, e pensávamos nos graus de liberdade que ele tinha que travar e liberar e quais componentes a gente iria usar para estes travamentos e esta liberação, no caso do grau de esterçamento a gente pensou que não poderia ser totalmente liberado por isso colocamos a mola. Na modelagem, o que era observado era o que já existia nos projetos anteriores, então, é como era a disposição dos componentes, qual espaço disponível que a gente tinha para alocar os componentes, os projetos similares externos, de quais componentes eram compostos, o formato deles, é isso...</p> <p>PESQ - Questionado sobre como “imaginou” o que estaria “no lugar” nos momentos de composição da modelagem a que ele se refere no primeiro encontro, ele responde:</p> <p>EST X - ...quando eu faço a passagem do esboço para os componentes com forma, a gente pensa principalmente na questão estrutural pois ele tem que resistir aos esforços aos quais ele vai ser submetido, por exemplo, o BSP com barra redonda, nesse tipo de mecanismo você submete a esforços em vários sentidos não mais só o esforço do amortecedor, quando você dá o grau de liberdade, você gera esforço ali do SL no meio do BSP, fica mais complexo, os esforços chegam em mais direções e a barra circular ela tem uma propriedade que a resistência dela é igual para todas as direções que você aplica o esforço. Em uma barra retangular por exemplo, dependendo da direção que você aplica a força a resistência vai ser diferente, então, era isso, vendo lá qual espaço eu tinha para colocar o componente então eu fazia as linhas de esboço mas eu estava com ele na cabeça, ele já com qual formato, qual espaço eu teria para colocar ele, qual tamanho ela deveria ser para aguentar os esforços então assim...tudo uma ideia né...baseado na experiência que eu já tinha do projeto do carro anterior, das peças do carro anterior, é isso.</p>	<p>geometria do mecanismo</p> <p>Modelagem se orientou pelos princípios do funcionamento / aspectos e critérios técnicos</p> <p>Histórico do protótipo anterior como base; o que já existe. Espaço disponível para a solução. O que já existe.</p> <p>Referência a estrutura construtiva</p> <p>Esforços/resistências</p> <p>Critérios técnicos</p> <p>Espaço disponível Forma</p> <p>Experiência anterior</p>	<p>Funcionalidade e racionalidade como princípio</p> <p>Histórico construtivo, o que existe. Restrição espacial. Conhecimento disponível</p> <p>Dimensionamento estrutural</p> <p>Racionalidade tecno-científica</p> <p>Espacialidade e condições de contorno. Saber da experiência</p>	<p>Funcionalidade</p> <p>Condições de contorno</p> <p>Conhecimento Explícito e experiencial do protótipo</p> <p>Condições de contorno e forma do objeto.</p> <p>Visão funcionalista</p> <p>Forma do objeto</p> <p>Conhecimento tácito</p>
---	--	---	---

PESQ - Porque você fez a geometria do MET assim? e o que significa “toda uma geometria”?	Codificação inicial a partir dos excertos	Codificação intermediária	Codificação focalizada
<p>EST X - ...O importante é o entendimento do todo, entender que não basta por uma mola lá...beleza, eu tenho uma mola lá mas se não tivesse essa geometria, esses braços de alavanca, garantindo, essas coisas todas que te mostrei, não funcionaria o mecanismo...</p>	<p>Compreensão do “todo”.</p> <p>Forma se submete à função - ideia de Funcionalidade e visão funcionalista</p>	<p>Integração</p> <p>Funcionalidade</p>	<p>Visão de sistema</p> <p>Funcionalidade</p>

<p>Est X - “...tem a ver com os braços de alavanca, tem que posicioná-los, de acordo com o eixo de pino mestre da roda para que a força que entra na roda faça com que ela vire pro lado certo, para favorecer o carro fazer a curva...tive que posicionar e dimensioná-los...(mostrando o desenho) isso aqui é o chassi, aqui isso é a suspensão...ai, isso é o esboço, todas estas linhas e pontos (um conjunto de linhas e pontos), isso é o projeto da geometria da suspensão, cada ponto verde é uma referência, uma restrição, por exemplo, este está alinhado com o eixo x, este está perpendicular, este está no ponto médio, coincidente, estas são as cotas, distâncias, eu vou definindo isto, vou tirar pra você ver de forma mais limpa, este é o último esboço, é o R55, este aqui são os goals, as metas, então cada cota na verdade foi uma meta, essa era a altura livre do carro, esta é o raio do pneu, o centro da roda está aqui...eu fui definindo e agregando as metas, as medidas, o centro do carro, a bitola, esse 30 aqui são os braços de alavanca, eu fiz a projeção de cima, eu dou uma giradinha...essa linha é um tirante, esse é o bsp...quando são tracejados, são linhas de trabalho, são linhas de construção, de referência...estruturei este desenho do zero...”</p>	<p>Os princípios científicos da Física/Dinâmica dos corpos</p> <p>Disposição espacial e restrições. Estruturação, construção e organização de elementos que dão sustentação na modelagem</p> <p>Houve alteração de metas ao longo do percurso devido às condições de contorno. Refletindo na modelagem, decidindo e ajustando</p>	<p>Conhecimento explícito</p> <p>Condições de contorno.</p> <p>Organização de elementos</p> <p>Adaptabilidade ao possível</p>	<p>Conhecimento disciplinar</p> <p>Condições de contorno.</p> <p>Forma</p> <p>Adaptabilidade</p>
--	---	---	--

3o. encontro: PESQ - Questiona novamente, como fez a modelagem?	Codificação inicial	Intermediária	Codificação focalizada
<p>EST X - “...a partir do carro anterior, e aquela ideia do projeto da FEL, que era similar mas não aplicável ao nosso, na questão da dimensão, eram outras peças, era outro carro; o momento zero eu tinha só o chassi, tinha uma versão do chassi, aí...eu peguei algumas coisas, mas não coisas físicas, alguns parâmetros...não comprimento da peça mas distância entre as rodas, entre as rodas da frente e as de trás, roll axis, inclinação, são coisas que a gente tenta fazer similar em relação ao modelo anterior, por exemplo eu também participei da mudança do 17 pro 18 então eu sei o que foi bom e o que não foi...eu peguei o chassi do 19 e fui acrescentando as linhas ... só o esboço sem as peças...inicialmente eu estava fazendo só as linhas da geometria depois eu vi que era muito importante fazer peça e geometria junto porque conforme eu mudava a geometria eu mudava a peça e resolvia alguns problemas que estava tendo...ex quando terminei a geometria e parti para a modelagem de peças eu vi identifiquei problemas que eu só conseguiria resolver se mudasse a geometria então eu passei a mudar a geometria e mudar a peça concomitantemente, a fase mais trabalhosa...estabeleci algumas metas, ex distância das rodas, tipo não aumentar a medida ...</p> <p>...tem muita coisa aqui que é...esses pontos são goals, altura livre, bitola, esses são de <i>powertrain</i>, caixa de engrenagem de onde sai o eixo para roda, é importante ter essas posições por eixo não ficar torto, esses 450 mm é o tamanho do amortecedor, aqui é a posição do</p>	<p>O histórico construtivo da equipe</p> <p>Singularidades do protótipo / Multilink Valores paramétricos</p> <p>A experiência prévia</p> <p>A concomitância da ideação da geometria inicial e modelagem das peças</p>	<p>Conhecimento experiencial</p> <p>Adequação e compatibilidade</p> <p>Saber prévio</p> <p>Integração de processos de trabalho</p>	<p>Saber tácito coletivo</p> <p>Singularidade/a daptabilidade</p> <p>Saber tácito. Conhecimento experiencial.</p> <p>Integração</p>

<p>amortecedor então eu já posso colocar no desenho, eu estava definindo isso, as versões da geometria eu fui testando essas posições, arredando um pouco para cima, um pouco para baixo, fazendo estes testes que são as versões, aí eu avaliava, os goals com as versões, que era exatamente igual a essa sem definir essas coisas, por exemplo, num carro de verdade, isso varia né, a suspensão, essa distância do chão até o chassi, ela muda então eu não posso deixar isso definido, o amortecedor também comprime e estende, varia, então se eu deixar definido eu não vou ver o comportamento da suspensão então eu faço outro esboço definindo outras dimensões que são agora as físicas, por exemplo, o comprimento desta peça, comprimento dessa, a distância entre as fixações dela na manga, ai...eu pego isso e faço outro esboço com as dimensões das peças físicas e aí nesse esboço eu vejo a suspensão trabalhando e aí eu vou avaliando como seria o desempenho mesmo que precariamente da suspensão. eu vejo...o quanto a roda subiu e quando o amortecedor comprimiu, vejo quanto variou de camber, em função do quanto comprimiu a suspensão ou o quanto variou o esterçamento com a suspensão.....eu fui aprendendo o que eu podia definir nesta fase do projeto, eu já tinha na cabeça das mudanças, mudava os pontos e ia testando o desempenho...</p>	<p>A experimentação das possibilidades. Comparações</p> <p>Avaliação e ajustes de condições de contorno. Antecipações.</p> <p>Antever o funcionamento</p> <p>Avaliação a priori</p> <p>Processo de aprendizado, experimentação e avaliação de possibilidades no contexto</p>	<p>Exploração</p> <p>Reflexão na ação durante a modelagem</p> <p>Antecipação</p> <p>Reflexão</p> <p>Aprendizagem</p>	<p>Experimentação</p> <p>Reflexão na ação</p> <p>Projetar/ Antecipar</p> <p>Análise</p> <p>Aprendizagem. Experimentação</p>
--	--	--	---

<p>PESQ questiona se há uma fórmula para o dimensionamento dos braços de alavanca que configuram a geometria do MET</p>	<p>Codificação inicial</p>	<p>Codificação intermediária</p>	<p>Codificação focalizada</p>
<p>Est X - "...quanto à fórmula, eu pesquisei, mas não encontrei. O dimensionamento foi no feeling mesmo. Considerando as proporções das forças de tração e força lateral e o espaço disponível para colocar as peças no carro..."</p> <p>PESQ questiona sobre o "feeling mesmo".</p> <p>Nível 5 - Est X - O mecanismo de esterçamento não é usual, não se encontra na literatura equações definidas para descrever o comportamento, não se encontra pronto, tal distância, tal tamanho, as variações dos parâmetros e os efeitos das variações, o que se poderia fazer uma metodologia das forças que entram e saem num estudo de elementos de máquinas, mas o que se definiu foram os braços de alavanca, foi avaliando os efeitos, foi bem experimental, e por motivos de tempo, eu avalei como satisfatório.</p>	<p>Sensibilidade diante das condições práticas e variantes que a modelagem implica</p> <p>Incerteza</p> <p>Problema indeterminado</p> <p>Modelagem da geometria do MET foi avaliando efeitos das condições variantes</p> <p>Razoabilidade</p>	<p>Conhecimento prático</p> <p>Incerteza</p> <p>Experimentação com as condições de contorno na modelagem</p> <p>Razoabilidade</p>	<p>Intuição</p> <p>Indeterminação</p> <p>Manipulação de dados, experimentação.</p> <p>Razoabilidade</p>

5o. encontro; PESQ - Como foi a passagem do esboço a mão para o primeiro esboço no Solid?	Codificação inicial	Codificação intermediária	Codificação focalizada
<p>EST X - .eu comecei realmente daquele esboço à mão no papel, acontece é que já existia algo parecido com isso no carro anterior, a gente já tinha na cabeça cada linha daquela o que era cada componente, os tirantes são duas linhas por exemplo com as posições definidas, mas em relação ao executável, um desenho, ou a um arquivo do Solid um...realmente o que aconteceu entre os dois [desenhos] foram conversas na equipe, e observações do mecanismo da outra equipe que inspirou, estudos de algo parecido com isso que já fizeram não em Baja, em Baja também como equipes dos Estados Unidos, em carros de maior porte, como o da Porsche, então foram pesquisas neste sentido, para eu ter uma base, primeiro pra ter uma certeza se o investimento de tempo iria valer a pena, se o negócio poderia funcionar de fato, e conversas com os membros da equipe, um brainstorming mesmo, pra ver antes de ir pra aí (para o desenho), mas realmente foi pra este ponto aí (do esboço a mão para as linhas básicas da geometria)...Eu tinha o esboço do carro anterior...eu tinha o carro montado na oficina na minha frente e aí eu vi o que estas linhas iriam virar na vida real e a partir daí eu fiz de maneira similar, fui definindo os pontos de ancoragem no chassi... o chassi já estava pré modelado, já tinha alguma coisa avançada eu peguei ele como base, alguns parâmetros, por exemplo a bitola, o entre eixos, algumas coisas a gente já tinha parâmetro para seguir e aí, fui ajustando a geometria que eu tomei como inspiração no carro anterior...e fui testar (experimentar), comecei os testes...</p>	<p>Partiu do que já existe e conhece</p> <p>Restrição de tempo. Trabalho em equipe</p> <p>Semelhanças e aproximações; Manipulação de dados; Testes de possibilidades e ajustes na modelagem</p>	<p>Conhecimento tácito e explícito</p> <p>Restrição de fator externo</p> <p>Aproximação ao conhecido</p> <p>Validação</p>	<p>Conhecimento tácito e explícito</p> <p>Condição de contorno macro. Trabalho colaborativo</p> <p>Aproximação</p> <p>Ajustes</p>
<p>PESQ - Como chegou no grau máximo de esterçamento?</p> <p>EST X - Nível 5 - ...o grau máximo eu te digo que foi pelas pesquisas que fiz antes de começar a modelagem, o quanto é demais, o quanto é de menos, aí tomei uma referência, da Porsche, de fórum de equipes, aí cheguei no valor de 10 graus...</p>	<p>Ponderação de compatibilidades. Escolha de projeto / arbitragem, juízo de valor</p>	<p>Equilíbrio</p> <p>Arbitragem</p>	<p>Coerência</p> <p>Decisão</p>
<p>PESQ - Como você estimou a força que entra nos braços de alavanca?</p> <p>EST X - Nível 5 - ..foi bem estimativa ali, falar, o carro pesa tanto, o coeficiente de atrito do pneu com o solo é aproximadamente X, alguns testes que a gente já tinha, qual força que o solo é capaz de fazer, tinha teste de tração eu sabia a ordem de grandeza, não ao certo, mas sabia da ordem de grandeza da força de tração, e no final das contas, qual que foi a minha conclusão né, ...é...esse braço aqui que é o que faz o mecanismo funcionar pela força lateral, a roda vai rotacionar neste eixo então eu tenho um braço de alavanca de X mm que vai fazer o carro esterçar pro lado que eu quero, e a força de tração quando acelera o carro vai fazer a roda voltar [para posição] então o que eu queria, esse momento gerado por este braço de alavanca tinha que ser maior que esse outro, quando eu quisesse que a roda virasse, então o que eu fiz eu coloquei, vou garantir que esse (o mechanical trail) vai ser maior que esse, então, vou colocar o triplo [da medida], mas foi com aquelas estimativas que eu te disse das grandezas das forças que entram no carro mas é pra te falar a verdade também</p>	<p>Estimativa</p> <p>Incerteza</p> <p>Relação de grandezas</p> <p>Risco calculado, precaução. Hesitação, dúvida, preocupação. Avaliação prévia</p>	<p>Aproximação ao conhecido, aceitável</p> <p>Razoabilidade, aceitável, racional</p>	<p>Compatibilidade /adequação</p> <p>Incerteza</p> <p>Coerência</p> <p>Adequação. Incerteza.</p>

<p>foi ...isso era um ponto que me preocupava, o carro foi fabricado, e eu só soube realmente que ia funcionar depois que rodou com o carro, mas eu tomei meus cuidados para garantir que ia funcionar, eu coloquei meu fator de segurança aqui.</p> <p>PESQ - Você não sabe a força que entra exatamente?</p> <p>Nível 5 - ...é aquele chute bem dado, chute com fundamento, o que seria o ideal seria a gente ter testes confiáveis com as forças que entram para eu saber qual ...a partir de qual relação de braço de alavanca meu mecanismo iria funcionar, a gente tinha estimativas de forças, de atrito, a força lateral, tínhamos feito teste que mediu a aceleração lateral máxima que o veículo chegava aí eu tinha ideia da força lateral que entra com o virar a massa do veículo, com estas estimativas eu cheguei mais ou menos numa relação de quanto deveria ser o braço de alavanca, mas isso foi uma das coisas que me ajudou, eu coloquei um fator aí e só tive certeza depois que funcionou...</p> <p>...a distância do ponto que a força entra até o eixo pelo qual a roda vai girar...essa linha aqui é a fixação do bsp na manga, essa linha também funciona como kingpin, a roda gira em torno de dois eixos, e para fazer isso, os dois eixos têm que ser paralelos senão não funciona, a roda não conseguiria esterçar...</p> <p>...então eu tinha algumas coisas definidas, os braços, raio do pneu definido e aí, alguns parâmetros eu defini arbitrariamente ...porque não acho na literatura falando assim, pelo menos eu não achei, olha por exemplo, a distância entre os kingpins [a linha de fixação do bsp e dos tirantes], não acho na literatura falando se você aumentar a distância vai acontecer isso, se inclinar a linha que une os pontos vai acontecer isso, então, eu defini colocava uma cota e ia testar, ia pra outro esboço colocava pra variar o curso e olhava, com esta configuração, com a suspensão comprimida por exemplo e ia mudando, eu fui testando cada dimensão dessa que não era goal e fui tentando otimizar a geometria nestes pontos...pra chegar na melhor geometria possível, isso foi o início e com o desenrolar das geometria eu ia vendo que ia aparecendo problemas como os ganhos cinemáticos, de camber e de convergência e divergência que deixa o carro direcionalmente instável.</p> <p>PESQ - Como modelou / dimensionou o quanto a mola poderia estender para abrir a roda?</p> <p>EST X ...foi uma questão de espaço disponível, preciso de espaço para manutenção do motor e cvt, para manutenção da suspensão, preciso fazer ele caber ali dentro, isso foi um parâmetro importante, outro foi o IR installation ratio, a relação entre a variação ... do comprimento do SL e a angulação da roda, então, exemplo, eu defini que o ângulo de esterçamento seria X graus o máximo, e uma variação do curso do SL, então, a variação seria X mm, então eu teria uma relação linear eu teria X grau de esterçamento por mm de variação do curso do SL, é uma variação de forças, eu teria que ter uma rigidez de mola ali, se eu passasse o curso de X para X, então, para X mm de variação de SL eu teria X grau de esterçamento, então precisaria de uma mola menos rígida porque ela deformaria mais e faria uma força maior...é eu tô considerando que uma mesma força para um mesmo momento, então a questão do</p>	<p>Garantia técnica</p> <p>Incerteza, risco calculado, estimativas. Incerteza, estimativa, aproximação</p> <p>Risco, aposta em uma aproximação ao efeito esperado</p> <p>Singularidade multilink -</p> <p>Julgamento</p> <p>Testagem experimental e</p> <p>Busca pela melhor geometria</p> <p>Espacialidade, empacotamento e condições de contorno</p> <p>Critério técnico, razão entre variáveis</p> <p>Experimentação,</p>	<p>Precaução à falha, adequação ao desejado. Incerteza. Antecipação</p> <p>Precaução a falha</p> <p>Arriscar-se. Estimação e aproximação</p> <p>Arriscar-se</p> <p>Singularidade e condições de contorno</p> <p>Avaliação e decisão de projeto</p> <p>Ajustes na modelagem</p> <p>Conhecimento técnico-prático</p>	<p>Adequação ao desejado</p> <p>Adequação</p> <p>Incerteza</p> <p>Aproximação ao razoável</p> <p>Incerteza</p> <p>Singularidade</p> <p>Escolha de projeto</p> <p>Experimentação</p> <p>Otimização</p> <p>Condições de contorno</p> <p>Conhecimento experiencial e teórico</p>
--	--	--	---

<p>curso que o SL teria que variar também influenciou foi a definição da dimensão dele. ...a rigidez da mola foi bem experimental, a mesma relação de forças que eu usei para definir os braços de alavanca vão influenciar na mola, vão atuar na roda, esta mesma estimativa de forças ajudou a ter uma dimensão da rigidez da mola...comprou uma mola testou e já compramos molas diferentes para testar e ver qual seria melhor...a mola menos rígida ficaria melhor então compramos menos rígida ainda para ver se o carro continuava a melhorar.</p> <p>PESQ - Como você imaginou a disposição do SL na <i>Manga</i>?</p> <p>EST X - ...foi um ponto crítico porque tem o link pra fazer a fixação do SL na manga e essa peça era a peça que falha... ela trincou, na competição ela trincou mas não a ponto de parar o carro, falhou por conta do dimensionamento dela na verdade a geometria dela...essa peça desde que o negócio começou a tomar forma eu pensei essa peça vai dar trabalho, a geometria dela gera um braço de alavanca grande numa região de pouco material da peça, tinha uma carga alta num lugar pequeno, concentra tensão e sabia que poderia falhar, eu modeliei a peça fiz a análise estrutural, testamos no carro, fomos na competição com peça nova pra garantir que ela não estava fatigada, na fixação dela na manga tinha a questão da orientação do SL longo com essa disposição das chapas para o SL não chegar angulado nas chapas de cima, tive que fazer esta peça longa, não queria alterar a geometria da manga por causa disso, mas eu não queria que o projeto todo mudasse em função dessa peça, ela vai existir mas ela vai existir mas ela vai ser a última...era longa pra não tocar na homocinética e no BSP, com a peça longa gera um braço de alavanca grande gerando muita tensão na junção com a manga... se fosse usinada custaria mais de 200 reais... na volta da competição a gente faz conferência para ver se tem alguma trinca e tinha trinca, trincou mas não rompeu.</p> <p>PESQ - Tinha uma fórmula para calcular o MET? Como é isso de “feeling mesmo”?</p> <p>EST X - ...para o amortecedor tem equações na literatura já predefinidas para o comportamento dele mas para o MET como ele não é usual, a gente não encontra esses dados, o que poderia ser feito, poderia descrever e fazer uma metodologia para calcular todas as entradas e saídas de força desse mecanismo dá pra fazer, tem a matéria de elementos de máquinas que ajuda bem a pensar nisso, mas na literatura a gente não encontra isso pronto, no feeling foi a questão dos <i>installation ratio</i>, dos braços de alavanca, o <i>mechanical trail</i> e <i>scrub radius</i>, eu não achei referência de valores para eles, tive que definir o braço de alavanca do link, esse não tem referência, tal tamanho, tal distância, avaliando as variações dos parâmetros, de geometria, eu fui avaliando os efeitos das mudanças dos parâmetros e cheguei na minha geometria que por conta de prazo e por avaliar já estar satisfatório a gente chegou na geometria final.</p>	<p>testando opções de rigidez de mola</p> <p>Conhecimento experiencial</p> <p>Justificativa técnica no cálculo estrutural, tensão e risco de rompimento</p> <p>Escolha de projeto / trade off (forma x custos) e restrição de custos, manga foi encomendada a terceiros. Interferência com peças laterais, o formato do SL se ajusta às condições de contorno</p> <p>Custo financeiro</p> <p>Intuição</p> <p>Indeterminação de Avaliação de incertezas Avaliação de efeitos de variações de parâmetros. Experimentação, aproximações. Restrição de prazo</p>	<p>Racionalidade tecno-científica</p> <p>Racionalidade tecno-científica</p> <p>Escolha. Adequação da forma às condições de contorno. Restrição externa à modelagem</p> <p>Intuição</p> <p>Experimentação e avaliação</p>	<p>Conhecimento experiencial</p> <p>Racionalidade tecno-científica</p> <p>Decisão de projeto. Adaptação de condição de contorno</p> <p>Indeterminação</p> <p>Intuir</p> <p>Manipulação de dados</p> <p>Condição de contorno macro</p>
--	--	--	---