



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Ciências da Engenharia

# Análise e optimização do produto no desenvolvimento de protótipos - estudo de caso

**Bruno Manuel de Sousa Pontes**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos

**Covilhã, Outubro de 2011**



## **Dedicatória**

Aos meus pais e avô.



## Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos, pela ajuda, dedicação e disponibilidade.

À Universidade da Beira Interior, pelas condições de trabalho concedidas e pela possibilidade de através da participação na Shell Eco-Marathon conseguir complementar da melhor forma a dissertação e assim terminar o mestrado.

Aos meus pais que tanto acreditaram em mim e nunca mediram forças para que eu conseguisse alcançar este patamar na minha vida.

Ao meu irmão pelas palavras de incentivo e força.

À minha namorada Sónia, pela motivação, apoio e compreensão nas horas menos boas, pelo exemplo de trabalho e força de vontade.

Aos meus amigos, pelo apoio, incentivo e por continuarem presentes ao longo destes anos que foram o meu percurso académico.



## Resumo

O trabalho agora apresentado centra-se na análise e optimização do produto no desenvolvimento de protótipos - estudo de caso. Contudo e face à bibliografia estudada optou-se por se estender a tese à análise do ensino da engenharia. O caso de estudo, projecto UBICAR, configurou-se como uma boa prática tanto na óptica da optimização do produto no desenvolvimento de protótipos como um óptimo caso de estudo face à problemática do ensino da engenharia. Optou-se por isso por estender o trabalho à apresentação de uma nova metodologia para aprofundamento do método de ensino na área das engenharias. Quanto ao problema da optimização, foi estudado, aplicado e contabilizados os resultados práticos.

## Palavras-chave

Desenvolvimento de protótipos, optimização de produto, ensino de engenharia, estudo de caso.



## **Abstract**

The work presented focuses on the analysis and optimization of the product in prototype development - case study. However, and in view of the literature studied, it was decided to extend the theory to the analysis of engineering education. The case study, project UBICAR, was configured as a good practice both in terms of their product optimization in the development of prototypes as a great case study view of the problems of engineering education. We chose to extend this work to present a new methodology for strengthening the teaching method in the field of engineering. Regarding the problem of optimization has been studied, applied and accounted for the practical results.

## **Keywords**

Prototype development, product optimization, engineering education, case study.



# Índice

|   |    |
|---|----|
| Introdução.....   | 1  |
| Metodologia desenvolvida. Projectos Cíclicos de Longa Duração (PCLD) .....    | 4  |
| Macro processo I - Selecção do PCLD.....                                      | 5  |
| Macro Processo II - Selecção de alunos e planeamento global do projecto ..... | 7  |
| Macro Processo III - Definição de tarefas e calendarização por área.....      | 9  |
| Macro processo IV - Construção, controlo e testes .....                       | 10 |
| Impacto do PCLD no projecto de aprendizagem .....                             | 11 |
| Estudo de caso .....  | 13 |
| Macro processo I .....  | 14 |
| Macro processo II - Selecção de alunos e planeamento global do projecto ..... | 16 |
| Macro processo III.....   | 18 |
| Concepção e desenvolvimento do produto .....                                  | 23 |
| Gestão de projecto .....  | 26 |
| Optimização .....   | 40 |
| Melhorar os órgãos mecânicos.....   | 41 |
| Melhorar a aerodinâmica .....   | 42 |
| Aumentar a eficiência do motor .....  | 44 |
| Reduzir o peso.....   | 44 |
| Conclusão .....   | 45 |
| Bibliografia.....   | 46 |
| Anexos .....  | 48 |



## Índice imagens

|  |    |
|--|----|
| Ilustração 1 - Mapa causal -gráfico de espinha de peixe(fishbone) .....                                    | 5  |
| Ilustração 2 - Macro processo I .....  | 6  |
| Ilustração 3 - Macro processo II .....   | 8  |
| Ilustração 4 - Exemplo de gráfico de Gantt simplificado .....  | 9  |
| Ilustração 5 - Representação gráfica do PCLD .....   | 10 |
| Ilustração 6 - Metodologia baseada em PCLD /Ciclo de Kolb's .....  | 12 |
| Ilustração 7 - Mapa causal desenvolvido para o VABC .....  | 14 |
| Ilustração 8 - Mapa causal desenvolvido pela área disciplinar de design industrial .....                   | 18 |
| Ilustração 9 - Gráfico de Gantt simplificado .....   | 19 |
| Ilustração 10 - Desenho à mão livre .....  | 20 |
| Ilustração 11 - Desenho CAD do projecto .....  | 20 |
| Ilustração 12 - Representação da secções .....   | 20 |
| Ilustração 13 - Secções de roofmate .....  | 21 |
| Ilustração 14 - Molde acabado .....  | 21 |
| Ilustração 15 - Carroçaria antes da pintura .....  | 21 |
| Ilustração 16 - Carro terminado .....  | 22 |
| Ilustração 17 - Carro terminada .....  | 22 |
| Ilustração 18 - Veiculo no seu estado actual .....   | 24 |
| Ilustração 19 - Diagrama causal a partir da tempestade de ideias .....                                     | 25 |
| Ilustração 20 - Representação gráfica das tarefas e relações de precedência (CPM 3 tempos estimados) ..... | 33 |
| Ilustração 21 - Veivulo anterior ao projecto .....   | 40 |
| Ilustração 22 - Veiculo após o projecto .....  | 40 |
| Ilustração 23 - Conjunto acelaredor/travão e suporte de roda .....   | 42 |
| Ilustração 24 - Representação dos efeitos aerodinâmicos .....  | 43 |
| Ilustração 25 - Testes aerodinâmicos e alterações necessárias .....  | 43 |
| Ilustração 26 - Medição do ângulo de abertura das válvulas .....   | 44 |
| Ilustração 27 - Chassi em fibra carbono .....  | 44 |



## Índice de Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1-Tabela de avaliação dos PCLD .....  | 6  |
| Tabela 2 - Exemplo das diferentes áreas disciplinares do projecto, numero de alunos, (...) ... | 7  |
| Tabela 3 - Avaliação qualitativa/quantitativa .....  | 15 |
| Tabela 4 - Áreas disciplinares consideradas.....   | 16 |
| Tabela 5 - Tarefas por área disciplinar .....  | 17 |
| Tabela 6 - Tarefas, descrição e precedências .....   | 26 |
| Tabela 7 - Tempos previstos e variâncias .....   | 34 |



## Índice de fórmulas

|  |    |
|--|----|
| Equação 1 - Cálculo do tempo previsto .....      | 30 |
| Equação 2 - Cálculo das variâncias .....         | 31 |
| Equação 3 - Tempo para terminar o projecto ..... | 31 |
| Equação 4 - Probabilidade de conclusão.....      | 39 |



## Lista de acrónimos´

|        |   |
|--------|---|
| CDP    | Concepção e desenvolvimento de produtos |
| EC     | Experiencias concretas                  |
| OR     | Observação e reflexão                   |
| CA     | Conceptualização abstracta              |
| EA     | Experimentação activa                   |
| PCLD   | Projectos cíclicos de longa duração     |
| MP I   | Macro processo I                        |
| MP II  | Macro processo II                       |
| MP III | Macro processo III                      |
| MP IV  | Macro processo IV                       |
| VABC   | Veículo automóvel de baixo consumo      |
| CPM    | <i>“Critical path method”</i>           |
| Tp     | Tempo previsto                          |
| Ft     | Tempo de fim mais tarde                 |
| Fc     | Tempo de fim mais cedo                  |
| It     | Tempo de inicio mais tarde              |
| Ic     | Tempo de início mais cedo               |



# Introdução

Os factores de competitividade das empresas contemporâneas obrigam a uma optimização de toda a cadeia de valor. Esses factores de competitividade que podem ser externos e internos incluem a concepção e desenvolvimento de novos produtos (CDP). A CDP pode ser entendida como uma procura permanente de articular as necessidades do mercado com as capacidades e competências das empresas (Cooper; Edgett; Kleinschmidt, 1997). A CDP, porque envolve objectivos contraditórios, custo, tempo e qualidade, passa por encontrar uma solução de compromisso que permita colocar o produto com a qualidade desejada ao preço de mercado em tempo oportuno.

Tendo em consideração que a globalização dos mercados tem contribuído para uma uniformização dos preços, o valor acrescentado dos produtos resulta hoje, em grande parte, da capacidade interna de reduzir custos. Se parte dessa capacidade está fortemente associada ao modelo organizacional e à gestão eficiente dos processos é aceite que o desenvolvimento do produto assume um papel central neste processo.

Neste sentido importa que a CDP seja efectuada de uma forma estruturada.

Nalguns casos a CDP não se destina a produtos para comercialização em larga escala, podendo no limite destinar-se a produtos unitários. A tendência actual dos mercados acentua esta tendência onde se exigem produtos cada vez mais diferenciados, nestes casos a CDP não é mais que o processo de optimização do protótipo.

De acordo com a pesquisa bibliográfica efectuada não foi identificada nenhuma metodologia de trabalho direccionada para a CDP unitários.

O processo de CDP exige hoje que o engenheiro dos tempos modernos tenha de possuir uma elevada capacidade de adaptação e de “habilidade manual”. Este perfil exige, segundo Thompson and Jordan (1999) uma elevada criatividade como ferramenta vital no processo de inovação. O objectivo é colocar novas ideias em prática e atingir elevados índices de motivação “A criatividade está certamente entre as mais importantes e generalizada de todas as actividades humanas. Casas e escritórios estão cheios de móveis, electrodomésticos, e outras conveniências que são produtos da criatividade humana”(Simonton, 2000).

Este factor permite acrescentar outra vertente ao trabalho desenvolvido que é, simultaneamente com a análise do CDP, estudar uma metodologia que promova a alteração do perfil dos engenheiros dos tempos modernos em particular, e a motivação para a escolha

da engenharia na generalidade, procurando contribuir para que o ensino da engenharia seja atractivo e eficiente.

De acordo com Seymour e Hewitt (1997) a principal razão para o insucesso e fuga de alunos de áreas como a matemática e a engenharia é o excesso de método expositivo. Apesar do ensino ainda estar centrado no método expositivo “*lecture-base approach*” (abordagem com base na leitura) (Elshorbagy and Schönwetter. 2002), são inúmeras as metodologias para incrementar a motivação dos alunos, em particular, na área da engenharia. Uma das abordagens recorrentes é o recurso à utilização de estudos de casos (Yadav et all, 2010). Neste artigo, Yadav et all apresentam as principais vantagens associadas ao estudo de casos, concluindo que a inclusão do estudo de casos conduz a atitudes positivas quando aplicados ao ensino da engenharia mecânica.

Charyton and Merril (2009) abordam a problemática da criatividade na generalidade e da engenharia criativa nos primeiros anos de estudo engenharia em particular, concluindo que: “os alunos precisam de ter a oportunidade de praticar as suas capacidades criativas. A Faculdade tem a necessidade de oferecer oportunidades para desenvolver essa habilidade e avaliar os alunos sobre seus progressos. Através destes métodos para avaliar a criatividade em *design* de engenharia, os educadores podem capacitar os alunos a desenvolver seus talentos como futuros engenheiros inovadores”

Outro assunto considerado quando se fala de ensino centrado no aluno é a necessidade de enquadrar adequadamente áreas de conhecimentos distintas. Esta temática é abordada por Leydens and Schneider (2009).

Em síntese a pesquisa bibliográfica analisada e referida anteriormente, acentua a necessidade de melhorar a motivação, a criatividade que induz à inovação e a multidisciplinaridade dos alunos de engenharia. Para esse efeito são apontadas diferentes metodologias de ensino nomeadamente estudo de casos e práticas laboratoriais. No entanto, um número significativo de investigadores reporta que o impacto do ensino tradicional tem resultados muito aquém das expectativas (Hofstein and Lunetta. (2004)). Neste caso, em que a eficiência das metodologias é questionada coloca-se a questão: Que metodologia utilizar?

Antes de se propor uma nova metodologia, importa perceber quais as principais competências associadas ao processo de aprendizagem efectiva.

De acordo com Hofstein and Lunetta (2004) e com Abdulwahed and Nagy (2009) a construção do conhecimento é um processo complexo que, se assente em práticas laboratoriais exige uma preparação e planeamento cuidadoso. De acordo com Kolb’s (“*Experiential learning theory*” (1984)) a construção do conhecimento e do processo de aprendizagem efectiva (*effective learnness*) envolve quatro tipos de competências:

- i) Experiências concretas (EC);
- ii) observação e reflexão (OR);
- iii) conceptualização abstracta (CA)
- iv) experimentação activa (EA).

Na fase inicial deste trabalho procurar-se-á apresentar uma metodologia direccionada para melhorar o ensino da engenharia para que posteriormente esta seja ilustrada com um estudo de caso com enfoque na problemática da CDP quando destinada a produtos unitários.

Proceder-se-á ao desenho de uma abordagem estruturada, neste tipo de casos, que conduza ao desenvolvimento de uma metodologia para melhoria de produtos unitários.

A metodologia apresentada será testada com recurso a um caso de estudo nomeadamente o processo de melhoria de um veículo automóvel de baixo consumo.

# Metodologia desenvolvida. Projectos Cíclicos de Longa Duração (PCLD)

A metodologia desenvolvida assenta num modelo de aprendizagem centrado no aluno através de projectos cíclicos de longa duração (PCLD) onde a motivação, estudo de casos, inovação/criatividade, multidisciplinaridade e práticas laboratoriais são enquadradas de forma a potenciar as diferentes dimensões de aprendizagem estudadas por Kolb's.

Para identificar os factores críticos no processo de aprendizagem recorre-se à utilização de uma ferramenta utilizada em ambientes industriais para estudar e melhorar sistemas complexos em diferentes áreas. Esta ferramenta aparece na literatura com várias designações: *causal maps*, *Ishikawa (fishbone) diagrams*, *cause and effect diagrams*, *impact whells and strategy maps* (Pande, Holpp, (2001), Evans (2005), Sorach (2006), Scavarda et all (2006)).

Em ciências sociais a construção de mapas de causa ou mapas causais (*causal maps*) é considerado um caso particular de mapeamento cognitivo porque é um modelo mental das relações entre elementos do sistema. Num mapa causal são representados conceitos, ideias ou áreas. Esses conceitos ideias ou áreas são posteriormente desagregados em factores de influência. Existem duas metodologias para recolher dados cognitivos para um mapa causal: tempestade de ideias (*brainstorming*) e entrevistas (*interviews*) (Scavarda et all (2006)). No âmbito da metodologia desenvolvida privilegiou-se a tempestade de ideias como forma de construção de mapas causais.

A metodologia está estruturada em 4 macro processos: Macro processo I - Selecção do PCLD; Macro processo II - Selecção de alunos e planeamento global do projecto; Macro processo III - Definição de tarefas e calendarização por área; Macro processo IV - Construção, controlo e testes.

## Macro processo I - Selecção do PCLD

A primeira etapa deste macro processo consiste na apresentação de múltiplos PCLD susceptíveis de implementação

Após a apresentação dos diferentes PCLD o objectivo é seleccionar o PCLD que melhor se adequa aos objectivos citados anteriormente, nomeadamente: motivação, estudo de casos, inovação, criatividade, multidisciplinaridade e práticas laboratoriais, como elementos facilitadores do processo de aprendizagem definido por Kolb's. Para o efeito recorre-se ao uso de tempestades de ideias como forma de construção do mapa causal.

A tempestade de ideias (*brainstorming*) envolve, nesta fase, os docentes ligados ao projecto que elaborarão um mapa causal para cada projecto proposto à luz dos objectivos definidos. O mapa causal terá uma representação gráfica semelhante à apresentada na ilustração 1.

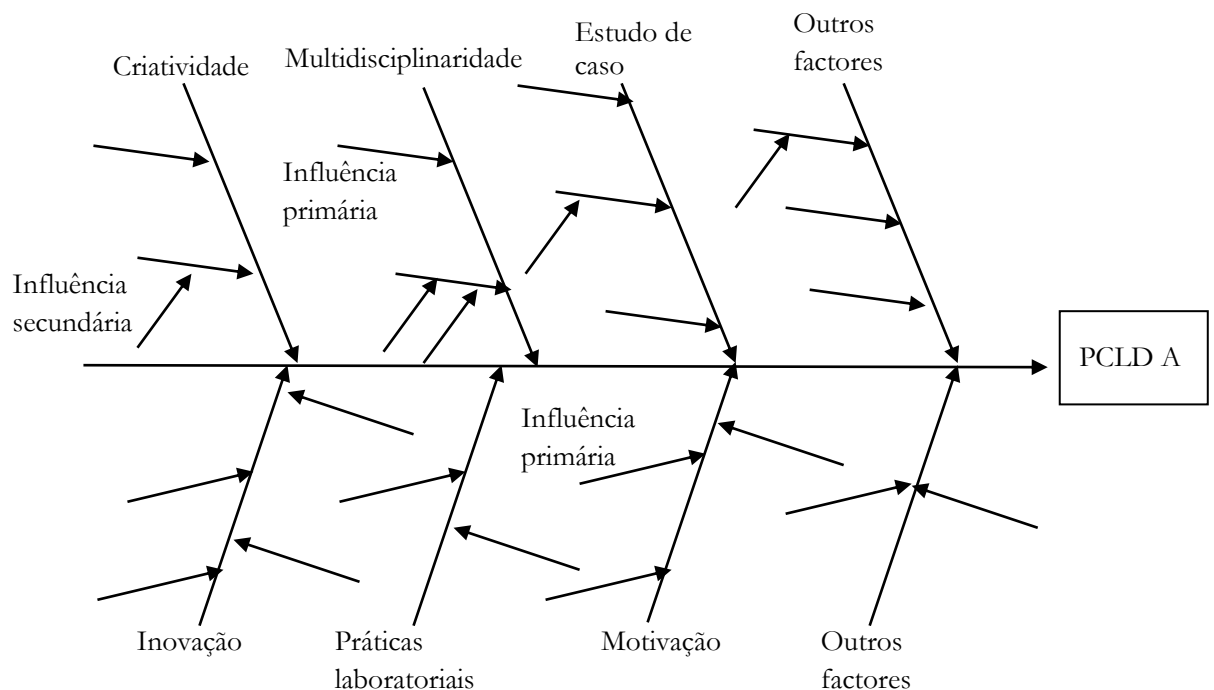


Ilustração 1 - Mapa causal -gráfico de espinha de peixe(fishbone)

Nesta forma, o mapa causal tem uma representação em espinha de peixe (fishbone), onde as necessidades do projecto são enunciadas e posteriormente subdivididas em factores de influência primária e secundária, através de tempestades de ideias. Estes factores de influência vão permitir identificar as áreas disciplinares associadas ao projecto e a sua interligação.

No final teremos um mapa causal para cada projecto apresentado. Esta representação facilita a introdução de uma nova ferramenta de selecção qualitativa/quantitativa. Através desta ferramenta, a cada área do projecto, é associado um factor de ponderação, avaliação qualitativa e uma nota, avaliação quantitativa. Na tabela 1 apresenta-se a tabela de avaliação proposta.

Tabela 1-Tabela de avaliação dos PCLD

| Projecto | Criatividade<br>10%<br>(Qualitativo) | Inovação<br>10% | Prática<br>experimental<br>% | Motivação<br>% | Estudo<br>de caso<br>% | Multidis.<br>% | Outros    | Total<br>100% |
|----------|--------------------------------------|-----------------|------------------------------|----------------|------------------------|----------------|-----------|---------------|
| A        | (1...100)<br>Quantitativo            | (1...100)       | (1...100)                    | (1...100)      | (1...100)              | (1...100)      | (1...100) |               |
| B        | (1...100)<br>Quantitativo            | (1...100)       | (1...100)                    | (1...100)      | (1...100)              | (1...100)      | (1...100) |               |
| D        | (1...100)<br>Quantitativo            | (1...100)       | (1...100)                    | (1...100)      | (1...100)              | (1...100)      | (1...100) |               |

Esquemáticamente o macro processo I pode ser representado conforme apresentado na ilustração 3.

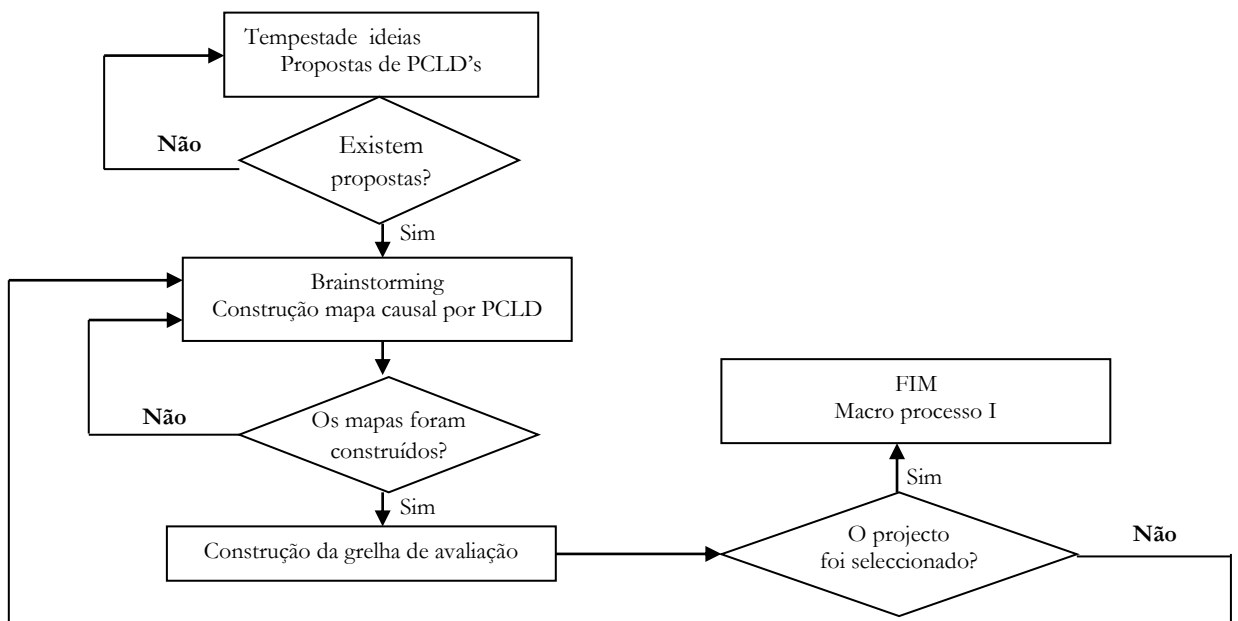


Ilustração 2 - Macro processo I

## Macro Processo II - Selecção de alunos e planeamento global do projecto

Após a selecção do PCLD procede-se a uma análise criteriosa resultando na criação das diferentes áreas disciplinares do projecto, onde são descritas as principais tarefas associadas a cada área, o número de alunos por área disciplinar e tarefa, e o docente responsável conforme é apresentado na tabela 2. O projecto é descrito sucintamente e divulgado junto da comunidade académica, docentes e alunos.

Tabela 2 - Exemplo das diferentes áreas disciplinares do projecto, numero de alunos, (...)

| Áreas disciplinares | Tarefas gerais associadas | Número de alunos | Docente responsável |
|---------------------|---------------------------|------------------|---------------------|
|---------------------|---------------------------|------------------|---------------------|

A definição final do trabalho a desenvolver em cada área disciplinar só pode ser efectuado após a selecção dos alunos.

Após a selecção dos estudantes por área disciplinar é feita um *workshop* para apresentação do projecto. Nesta reunião são explicados pormenorizadamente todos os aspectos referentes ao projecto. Alguma da experiência adquirida é exposta nesta reunião pelos alunos que já participaram no projecto em anos anteriores.

As especificações do projecto em cada área disciplinar é feita em reuniões sectoriais. Nesta reunião são especificados os principais objectivos. Estes objectivos podem estar associados a melhorias ou a inovação na área respectiva, tendo de ser evidenciada a sua relevância para o projecto global.

Findas as reuniões sectoriais, ocorre um novo *workshop* para definição do projecto global. Nesta reunião são articuladas as tarefas correspondentes às diferentes áreas.

O macro processo II é esquematizado na ilustração 3.

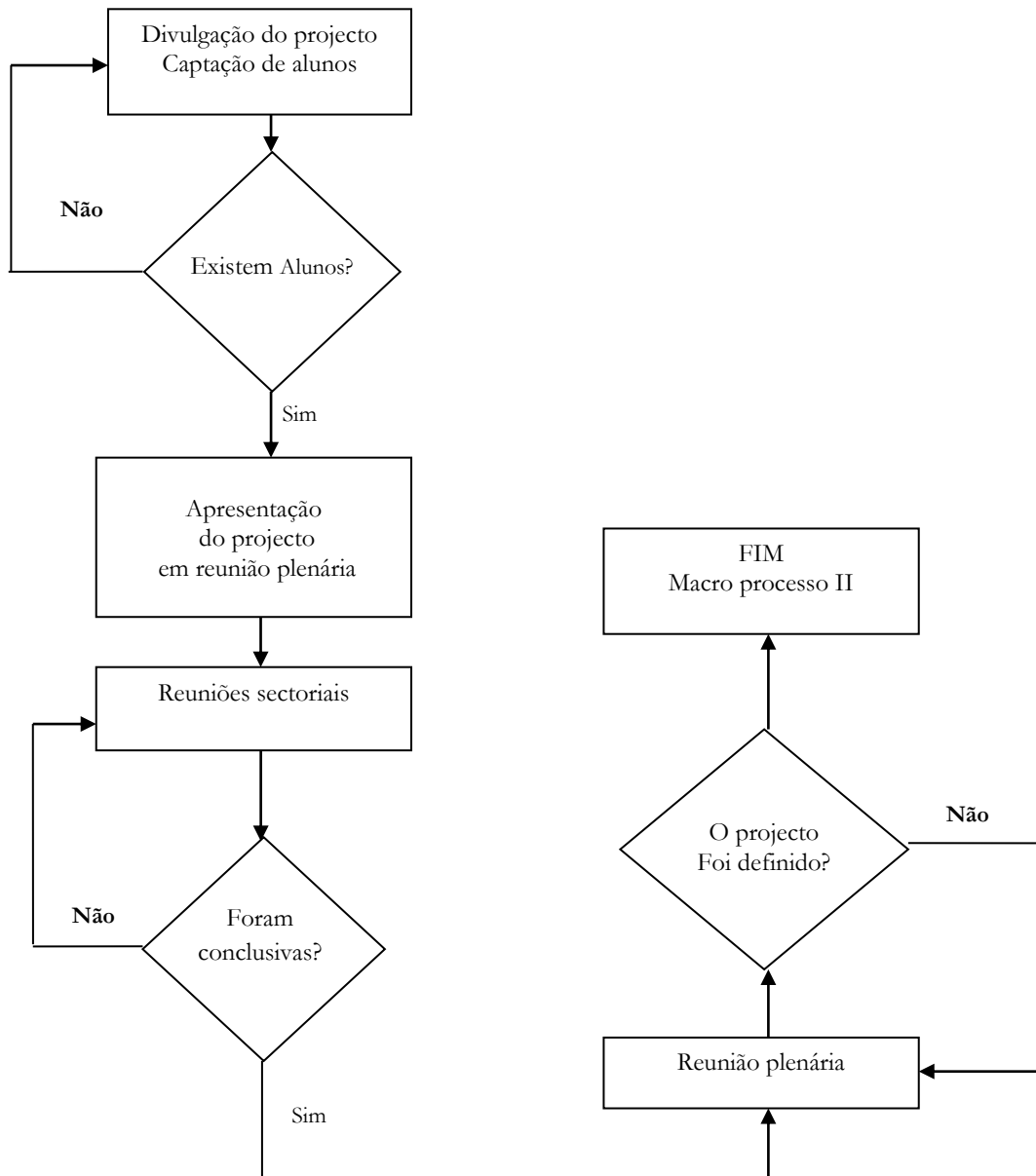


Ilustração 3 - Macro processo II

## Macro Processo III - Definição de tarefas e calendarização por área

Cada área, face ao plano definido, elabora um mapa causal para cada objectivo definido, e apresenta uma calendarização.

Quando todas as áreas tiverem concluído este trabalho é efectuado um *workshop* com todos os elementos do projecto, onde é definida a calendarização global do projecto. Para uma melhor visualização das tarefas e relação de precedências a calendarização deve ser efectuada através de um gráfico de Gantt (ilustração 4).

| Fases do desenvolvimento   |   |   |  |  |   |  |
|----------------------------|---|---|--|--|---|--|
| Actividades                | Desenvolvimento do conceito   | Programação do produto  | Engenharia detalhada do processo e do produto  |  | Produção piloto   | Introdução no mercado  |
|                            |   |   | Fase I   | Fase II  |   |  |
| Desenvolvimento do produto | Propõe novas tecnologias; Desenvolve a ideia de produto; Constrói modelos; Faz simulações | Escolhe componentes e interage com os fornecedores; Constrói o primeiro sistema protótipo; Define a arquitectura do produto                 | Faz o desenho detalhado do produto e sua articulação com o processo; Desenvolve protótipos; Faz testes sobre os protótipos | Refina detalhes do desenho; Participa na construção da segunda fase de protótipos          | Avalia e testa unidades piloto; resolve problemas   | Avaliação a experiência adquirida com o projecto.                                |
| Marketing                  | Fornecer os inputs do mercado; Propõe e investiga conceitos de produto                    | Define os parâmetros dos inquéritos aos clientes; Desenvolve estimativas de vendas e margens; Conduz os primeiros contactos com os clientes | Conduz os testes de clientes nos protótipos; Participa na avaliação dos protótipos.  | Conduz a segunda fase de testes com os clientes; Elabora plano de marketing e distribuição | Prepara o lançamento no mercado; dá formação a os vendedores; prepara ordens de entrada.  | Canais de distribuição em pleno. Vende e dialoga com os clientes chave.          |
| Produção                   | Propõe e investiga conceitos de processos   | Desenvolve estimativas de custos; Define a arquitectura do processo; realiza simulações do processo; Valida os fornecedores                 | Faz desenhos detalhados do processo; Desenha e desenvolve máquinas e ferramentas. Participa na produção dos protótipos     | Testa equipamentos e ferramentas; Constrói a segunda fase de protótipos;                   | Constrói unidades piloto no processo comercial; Refina o processo baseado na experiência piloto; Treina pessoal e testa cadeia de fornecimento. | Prepara a produção para os pedidos de amostras; faz testes de qualidade e custos |

Ilustração 4 - Exemplo de gráfico de Gantt simplificado

## Macro processo IV - Construção, controlo e testes

O macro processo IV corresponde à execução do projecto definido nos macro processos anteriores. O corpo docente funciona nesta fase do projecto como facilitadores de meios e suporte para esclarecimento de dúvidas.

As diferentes áreas, apesar de trabalharem de forma autónoma não são estanques. O trabalho desenvolvido pelas diferentes áreas é interdependente e pode ter influência no cumprimento dos prazos estabelecidos. São efectuadas *workshops* onde participam todos os elementos das diferentes áreas. Procedem-se aos reajustamentos necessários para cumprimento dos calendários estabelecidos

Havendo alunos cujo trabalho desenvolvido esteja inserido nalguma área curricular, nomeadamente dissertações de mestrado, é enquadrado cientificamente pelo docente coordenador da área correspondente no projecto.

A cada ciclo de projecto os macro processos 2, 3 e 4 repetem-se.

Após a definição do PCLD no macro processo 1, entra-se num ciclo que se repete com uma determinada periodicidade, esse ciclo engloba:

Macro processo II (MP II) - Selecção de alunos e planeamento global do projecto

Macro processo III (MP III) - Definição de tarefas e calendarização por área;

Macro processo IV (MP IV) - Construção, controlo e testes

Graficamente um PCLD pode-se representar conforme a ilustração 5.

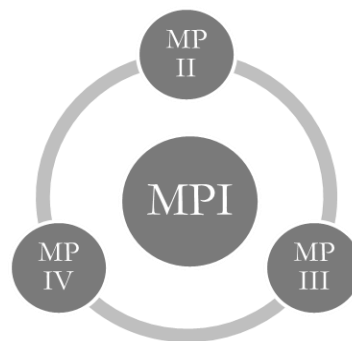


Ilustração 5 - Representação gráfica do PCLD

# Impacto do PCLD no projecto de aprendizagem

Conforme explicado, o objectivo final da metodologia apresentada, é promover o ensino centrado no aluno, através de um processo de aprendizagem efectivo, que se quer motivador, que induza à criatividade e inovação, e esteja assente em competência multidisciplinares e no desenvolvimento de competências adquiridas através de práticas laboratoriais e de estudo de casos.

O PCLD que permite aos estudantes estar envolvidos durante um ou mais ciclos pode ser considerado um caso particular de educação laboratorial.

Por outro lado é possível estabelecer uma relação entre o desenvolvimento do PCLD e o ciclo de aprendizagem desenvolvido por Kolb's.

Considere-se um aluno recém-admitido no projecto. Após o processo de admissão MP I vai integrar o projecto através do MP II. Nesta fase existe um conhecimento passado associado ao projecto. O aluno vai contactar com este conhecimento ao longo do MP II quer nos *workshops* globais quer nos sectoriais, nesta fase prevalece a apreensão (*apprehension*), onde vai absorver conhecimento instantaneamente sem qualquer confirmação analítica, o que representa a experiencia concreta de acordo com o ciclo de Kolb's.

Após esta fase os alunos são chamados a participar no desenvolvimento do projecto, nas sub-áreas em que estão integrados, MP III, com uma participação activa na definição e calendarização das tarefas. Trata-se de observar o trabalho efectuado em anos anteriores e apresentar novas ideias, Observação reflectiva (OR) representa a dimensão em que a experiência pode ser alterada intencionalmente através da observação.

Esta fase é seguida de conceptualização abstracta (CA), a compreensão, com um conhecimento assente na reflexão e confirmação analítica. Estas duas fases constituem segundo Kolb's a fase de apreensão ou acto de adquirir conhecimento efectivo.

O macro processo IV diz respeito à construção, os estudantes são estimulados a aplicar os seus conhecimentos, estamos perante a fase de experimentação activa (EA), consolidando o processo de aprendizagem por extensão, desta forma fecha o eixo horizontal do ciclo de Kolb's respeitante à transformação.

A relação entre a metodologia proposta e o ciclo de Kolb's pode ser representada de forma esquemática conforme na ilustração 6.

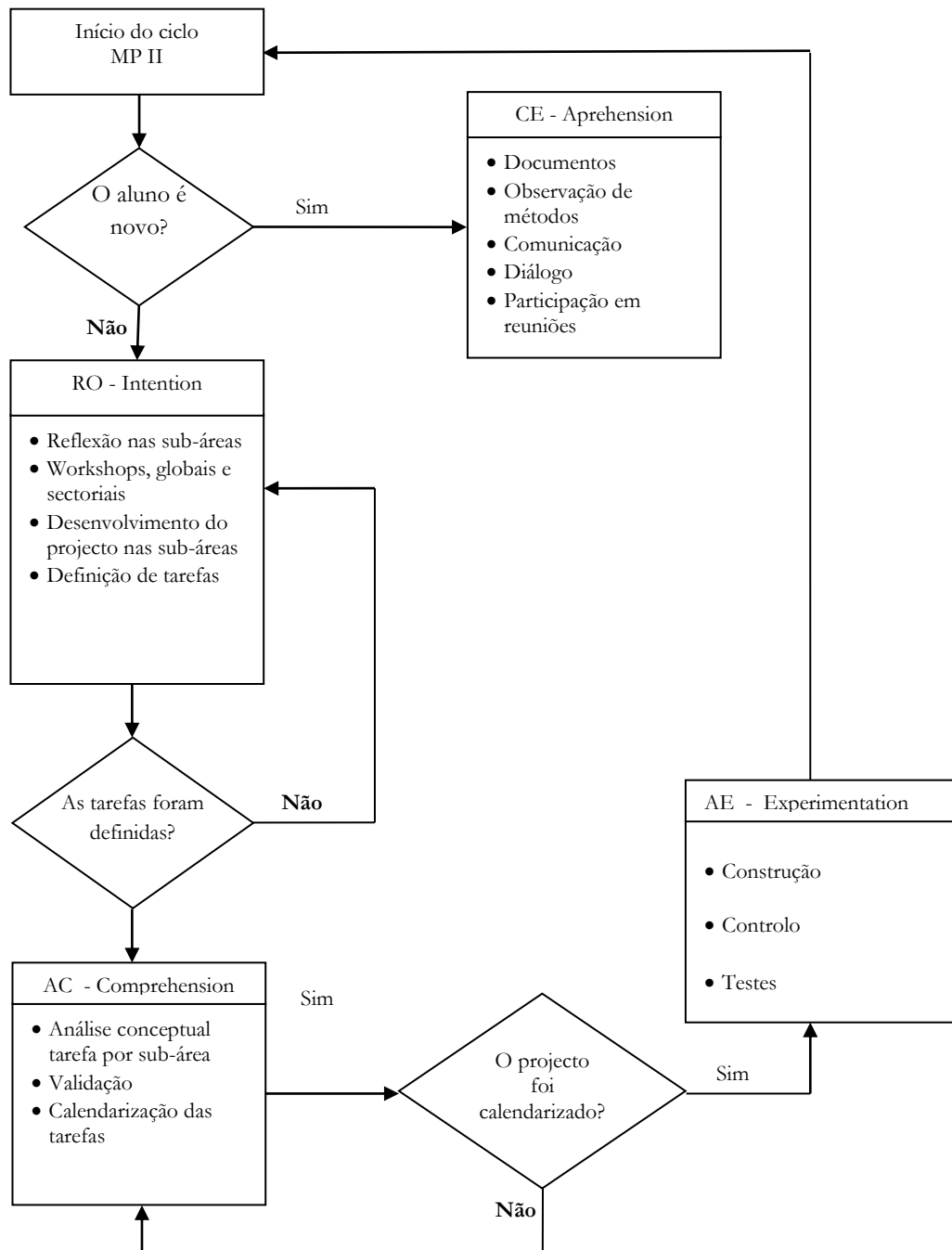


Ilustração 6 - Metodologia baseada em PCLD /Ciclo de Kolb's

## **Estudo de caso**

Há doze anos a faculdade de engenharia da universidade da beira interior sentiu a necessidade de incentivar o desenvolvimento de projectos multidisciplinares que estimulassem a participação e motivação dos alunos no processo de aprendizagem. Nesse sentido foi solicitado a um conjunto de docentes uma reflexão sobre o assunto da qual resultou a metodologia atrás apresentada.

## Macro processo I

Da primeira reunião saíram um conjunto de propostas de PCLD para as quais foram construídos os respectivos mapas causais. De entre as propostas apresentadas referem-se a título de exemplo: i) construção de um veículo *formula student*, ii) Dinamização de um concurso para construção de pontes em esparguete, iii) construção de um veículo automóvel de baixo consumo para participação na prova *Shell Eco-Marathon*.

Para as propostas referidas foram construídos os respectivos mapas causais. Na ilustração 7 é apresentado o mapa causal desenvolvido para o PCLD construção de veículo automóvel de baixo consumo (VABC).

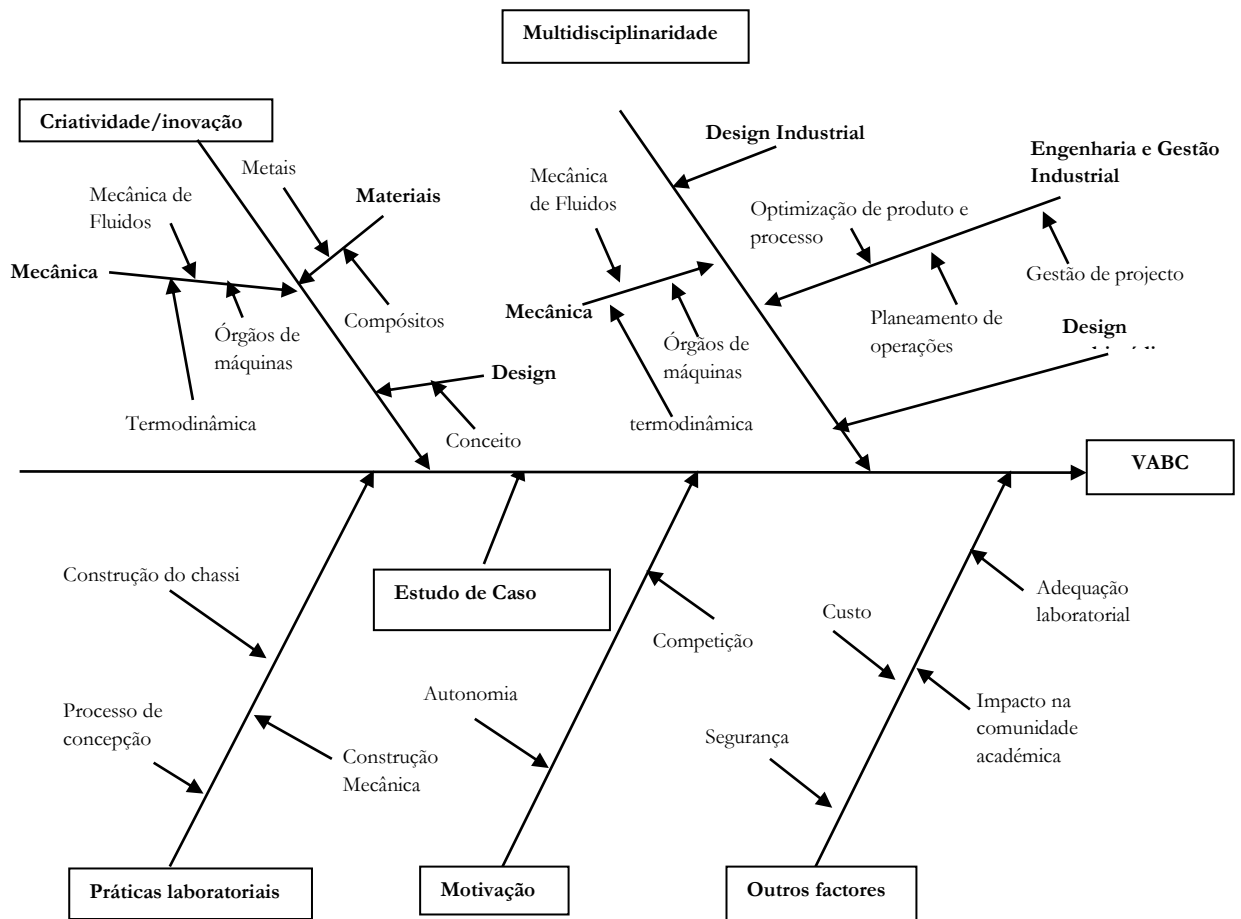


Ilustração 7 - Mapa causal desenvolvido para o VABC

Foi desenvolvido um mapa causal para cada uma das propostas inicialmente apresentadas. Com base na análise dos mapas causais elaborados procedeu-se à selecção do projecto através da tabela de avaliação qualitativa/quantitativa, conforme se ilustra na tabela 3.

Tabela 3 - Avaliação qualitativa/quantitativa

| Projecto          | Criatividade/<br>inovação<br>20% | Prática<br>experimental<br>30% | Motivação<br>10% | Estudo<br>de<br>caso<br>10% | Multidis.<br>20% | Outros<br>Factores<br>10% | Total<br>100% |
|-------------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------|---------------|
| Formula student   | 95                               | 100                            | 95               | 90                          | 90               | 70                        | 92,5          |
| Pontes esparguete | 90                               | 80                             | 70               | 90                          | 80               | 100                       | 84            |
| VABC              | 95                               | 100                            | 90               | 90                          | 95               | 90                        | 95            |

Esta avaliação foi efectuada pelos docentes envolvidos no projecto com base nos mapas causais desenvolvidos. Como se pode verificar pela análise da tabela houve uma avaliação muito próxima para o projecto *formula student* e o VABC. Se por um lado se entendia que o factor competitivo assente na velocidade seria um factor de motivação acrescido no projecto *formula student* por outro considerou-se que o custo do projecto seria mais elevado e que não se dispunha do equipamento adequado em termos laboratoriais para a execução do projecto. Também o factor segurança foi determinante na selecção do projecto VABC. Em relação à multidisciplinaridade o VABC também apresentava vantagens uma vez que contempla uma componente de competição para a equipa que desenvolva um maior acompanhamento multimédia do evento.

Após a fase de selecção passou-se ao Macro processo II - Selecção de alunos e planeamento global do projecto

## Macro processo II - Selecção de alunos e planeamento global do projecto

Tendo por referência o mapa causal apresentado na ilustração 6, consideraram-se as áreas disciplinares apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 - Áreas disciplinares consideradas

| Áreas disciplinares            | Tarefas gerais associadas  | Número de alunos | Docente responsável |
|--------------------------------|--|------------------|---------------------|
| Design Industrial              | Desenvolvimento do conceito e concepção em cad   | 2                | 1                   |
| Mecânica (Termodinâmica)       | Seleção e melhoria do motor  | 2                | 1                   |
| Mecânica (Fluidos)             | Estudo aerodinâmico do veículo   | 2                | 1                   |
| Mecânica (Órgãos mecânicos)    | Estudo dos restantes órgãos mecânicos do veículo   | 3                | 1                   |
| Materiais                      | Seleção de materiais e construção do chassi e da carroçaria  | 4                | 1                   |
| Engenharia e Gestão industrial | Gestão financeira do projecto.<br>Programação e controlo de tarefas.<br>Optimização do produto e do processo | 2                | 1                   |
| Design Multimédia              | Divulgação do evento, construção das páginas Web, Facebook, twitter  | 1                | 1                   |

Aquando da divulgação do projecto junto da comunidade académica, as áreas científicas já estavam definidas. O projecto foi então divulgado e deu-se início ao processo de inscrição. Nesta fase cada aluno informou sobre a área preferencial de trabalho.

Após a primeira fase de inscrição, e por existirem alunos interessados em número suficiente, efectuou-se a reunião plenária para apresentação inicial do projecto. Esta apresentação foi feita por docentes e por alunos que já haviam participado no projecto em anos anteriores. Após esta primeira reunião, cada docente responsável pelas diferentes áreas disciplinares promoveu reuniões sectoriais onde foram apresentadas e discutidas, em termos genéricos, as propostas de melhoria e inovação em cada área.

Quando todas as áreas disciplinares concluíram esta fase inicial de reuniões, foi promovida uma reunião plenária onde o projecto foi definido em termos gerais. As propostas apresentadas por área disciplinar são as representadas na tabela 5.

Tabela 5 - Tarefas por área disciplinar

| <b>Áreas disciplinares</b>     | <b>Tarefas gerais associadas</b>   | <b>Obs.</b>                 |
|--------------------------------|--|-----------------------------|
| Design Industrial              | Concorrer ao prémio de design através da concepção de uma nova carroçaria                  |                             |
| Mecânica (Termodinâmica)       | Melhorar o motor existente através do desenvolvimento de um sistema de injeção electrónica | Inclui um aluno de mestrado |
| Mecânica (Fluidos)             | Proceder ao estudo aerodinâmico do veículo a desenvolver                                   | Inclui um aluno de mestrado |
| Mecânica (Órgãos mecânicos)    | Concorrer ao prémio de inovação desenvolvendo um sistema de travagem regenerativo.         | Inclui um aluno de mestrado |
| Materiais                      | Construir um chassi integralmente em fibra de carbono                                      |                             |
| Engenharia e Gestão industrial | Optimizar o produto encontrando novas formas de montagem                                   |                             |
| Design Multimédia              | Manutenção das páginas concebidas em anos anteriores                                       |                             |

## Macro processo III

Cada área disciplinar apresentou um mapa causal para as tarefas que se propôs executar. Atendendo ao número elevado de áreas disciplinares é apresentado, a título de exemplo, o mapa causal desenvolvido pelo *design industrial*, ver ilustração 8.

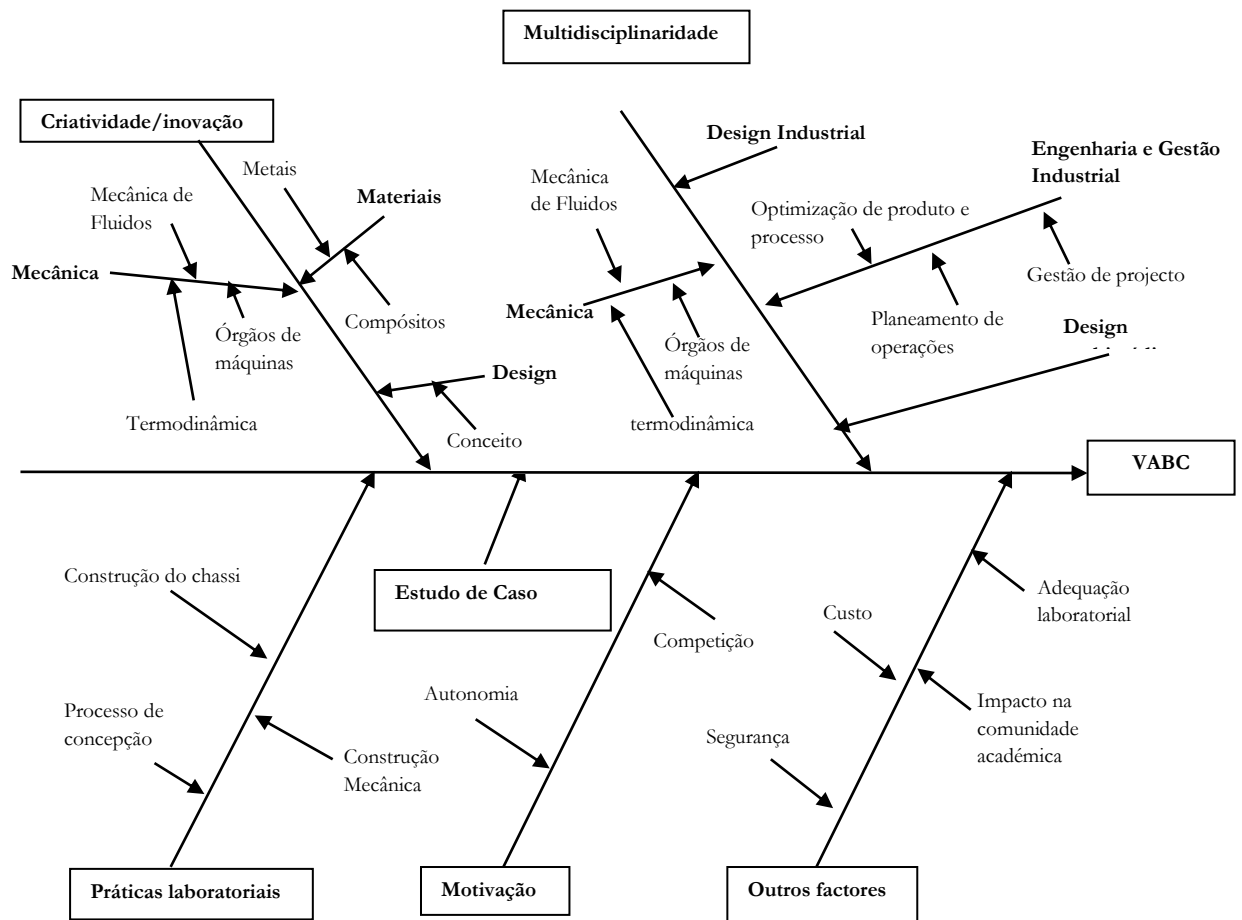


Ilustração 8 - Mapa causal desenvolvido pela área disciplinar de design industrial

Com base nos mapas causais apresentados pelas diferentes áreas procedeu-se à calendarização das tarefas. A calendarização foi apresentada sobre a forma de gráfico de Gantt. O mapa de Gantt apresentado na ilustração 9 é apenas elucidativo, não estando completo por se considerar exaustivo e desnecessário no âmbito deste artigo.

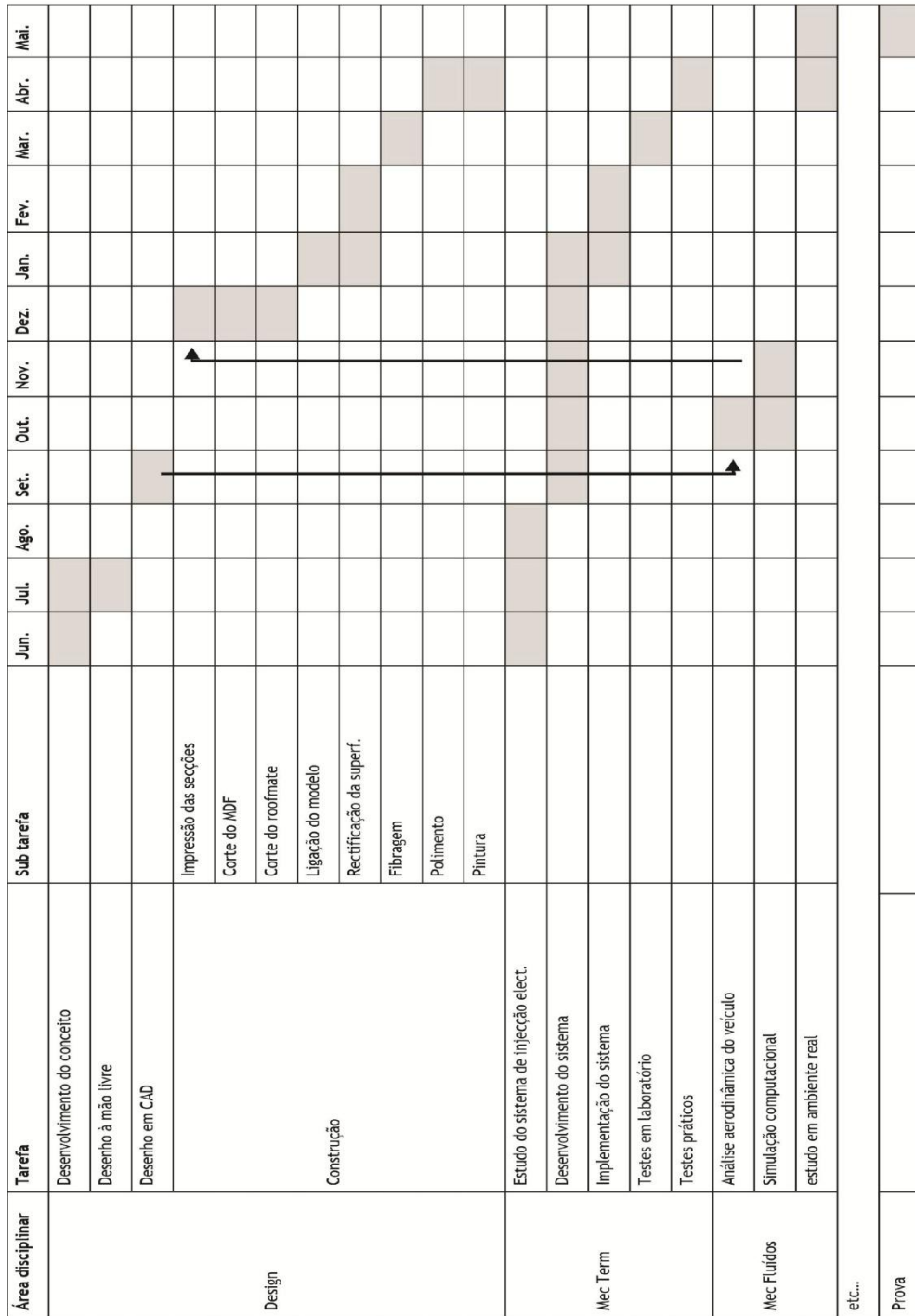


Ilustração 9 - Gráfico de Gantt simplificado

Com a elaboração do gráfico de Gantt concluiu-se o macro processo III tendo-se iniciado o processo de construção, macro processo IV. Sobre este macro processo deixam-se as ilustrações 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17 que ilustram o trabalho desenvolvido ao nível do Design.

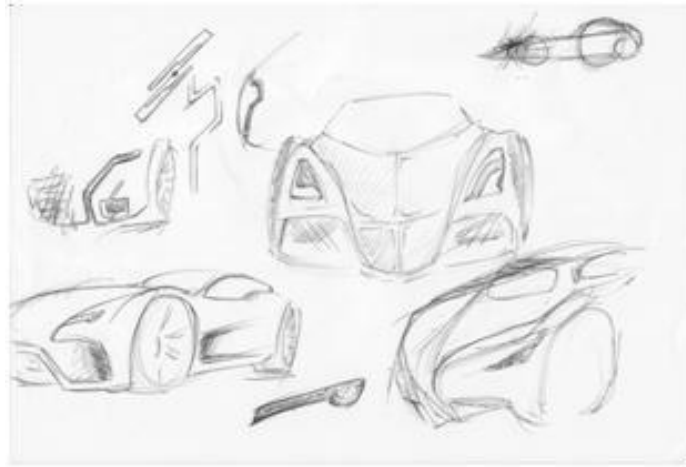


Ilustração 10 - Desenho à mão livre



Ilustração 11 - Desenho CAD do projecto

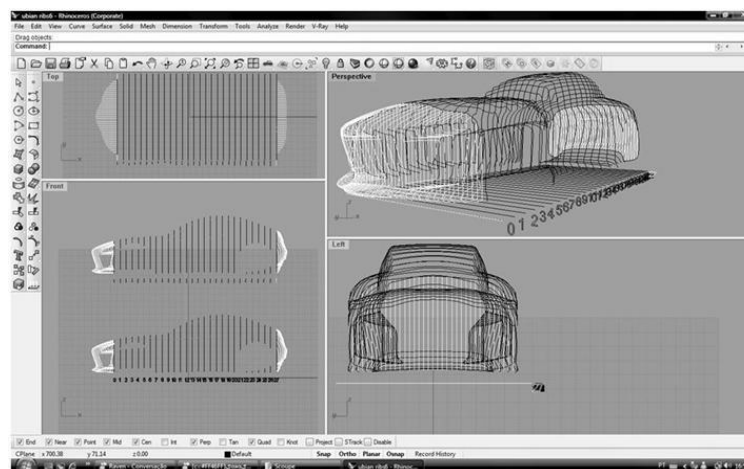


Ilustração 12 - Representação da secções



Ilustração 13 - Secções de roofmate



Ilustração 14 - Molde acabado



Ilustração 15 - Carroçaria antes da pintura



Ilustração 16 - Carro terminado



Ilustração 17 - Carro terminada

# Concepção e desenvolvimento do produto

Como referido nos anos posteriores têm-se repetido os macro processos II III IV neste sentido e ainda no âmbito da presente dissertação foi analisada uma metodologia para melhorar a fiabilidade e o consumo do carro através de uma análise criteriosa do processo CDP

Academicamente é aceite que a CDP envolve várias etapas, nomeadamente: desenvolvimento do conceito; programação do produto; engenharia do produto e do processo, produção piloto e introdução no mercado (Chase R. Jacobs (2006)).

Por seu turno:

O desenvolvimento de produto inclui: i) arquitectura do produto, ii) desenho do conceito e iii) pesquisa de mercado.

Programação do produto subdivide-se em: i) construção do mercado, ii) testes de pequena escala e iii) investimento financeiro.

Também à engenharia do produto e do processo estão associadas duas tarefas: i) concepção detalhada do produto e das máquinas/ferramentas e ii) construção dos protótipos de teste.

Finalmente à produção piloto associam-se i) teste da produção em larga escala, ii) início de produção e iii) aumento do volume de produção para testes de mercado.

A CDP é pelo que foi dito susceptível de ser gerido numa perspectiva de gestão de projecto uma vez que envolve diferentes tarefas associadas a diferentes áreas de trabalho conforme especificado na tabela 4 (Chase R. Jacobs (2006)).

O caso em análise é um caso particular da CDP e enquadra-se no macro processo III do PCLD. Ou seja o desenvolvimento do veículo automóvel de baixo consumo é um projecto que se renova todos os anos. Para identificar os factores críticos no PCLD recorre-se à utilização, conforme preconizado anteriormente, ao “*causal maps, Ishikawa (fishbone) diagrams, cause and effect diagrams, impact whells and strategy maps*”(Pande, Holpp, (2001), Evans (2005) Sorach (2006) Scavarda et all (2006)).

Torna-se difícil estabelecer o mapa causal independentemente do protótipo em análise, neste caso um veículo automóvel de baixo consumo. O veículo automóvel em análise resulta do trabalho desenvolvido ao longo dos últimos 4 anos por alunos de engenharia e *design*. O veículo tem sido utilizado numa competição internacional designada “*Shell Eco-Marathon*”. O objectivo da competição é desenvolver um veículo que com um litro de gasolina percorra o máximo de quilómetro. O veículo existente neste momento na faculdade de engenharia percorreu 124km/l.

Pode-se então definir como objectivo complementar desta dissertação, que corresponde a um novo ciclo no processo de aprendizagem na concepção do veículo, desenvolver uma metodologia que conduza à redução de consumo.

Outro aspecto que tem sido recorrente no decorrer desta competição em relação ao veículo em análise é a falta de fiabilidade. Normalmente a competição permite a realização de 4 tentativas e constatou-se que nos últimos 3 anos os veículos têm finalizado apenas uma das 4 tentativas disponíveis.

Face ao exposto e seguindo o raciocínio atrás apresentado utilizou-se a tempestades de ideias procurando-se identificar através de um mapa causal os pontos-chave que poderiam conduzir ao duplo objectivo redução do consumo e aumento da fiabilidade.

Para elaboração do mapa causal foi solicitada a colaboração de todos os elementos envolvidos no projecto oriundos de diferentes áreas. Na ilustração 18 pode-se ver o veículo no seu estado actual, é sobre este veículo que se vão proceder a alterações com objectivo supracitado.



Ilustração 18 - Veículo no seu estado actual

Não se tratava de construir de raiz mas melhorar o existente que se apresenta na figura 1. O veículo apresentado tem um peso de 160Kg, estando equipado com um motor de 160 cm<sup>3</sup>, chassi em aço tubular de secção quadrada e carroçaria em fibra de vidro.

Reunidos os elementos da equipa procedeu-se a uma reunião onde se perguntou quais os factores que contribuíam, na opinião de cada um, para o aumento do consumo e para a baixa fiabilidade do automóvel. O diagrama causal que se elaborou a partir desta tempestade de ideias é o que se apresenta em seguida ilustração 19:

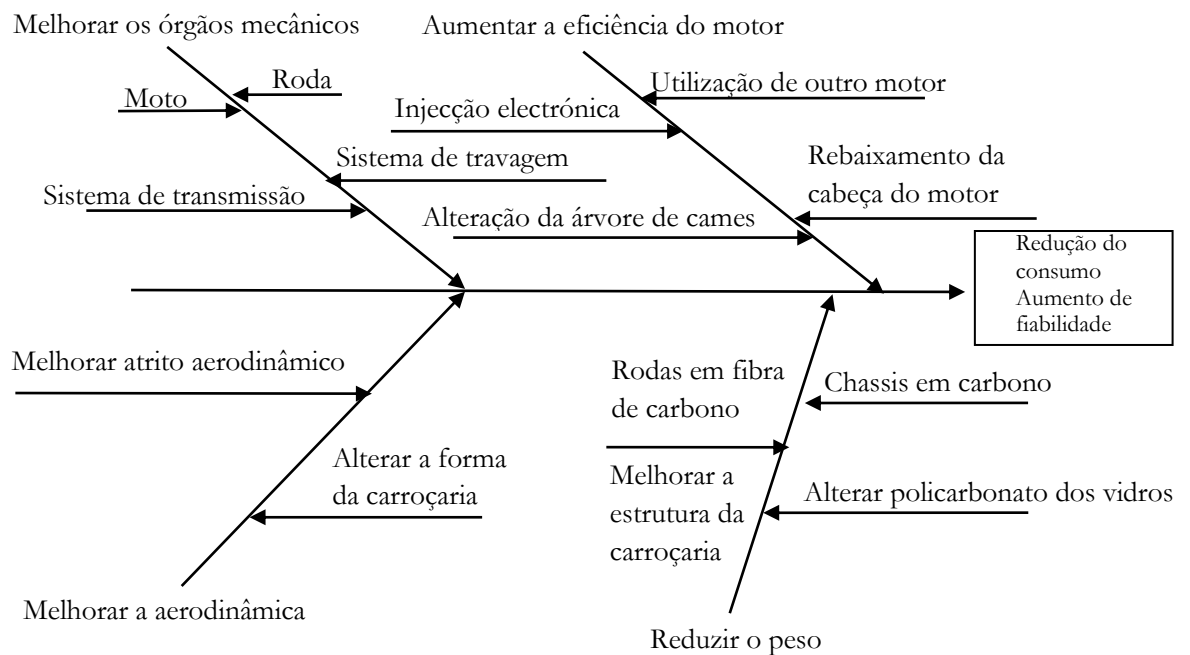


Ilustração 19 - Diagrama causal a partir da tempestade de ideias

Através de tempestade de ideias entre os elementos da equipa, identificaram-se as seguintes áreas de trabalho: melhorar os órgãos mecânicos (reduzindo peso e aumentando a fiabilidade), melhorar a aerodinâmica (reduzindo o coeficiente de atrito), aumentar a eficiência do motor (analisando o desempenho termodinâmico através de diferentes intervenções), e reduzir o peso (alterando materiais e o design).

Tratando-se de um projecto multidisciplinar algumas das medidas preconizadas tendo em vista a optimização do consumo do veículo dependem de terceiros pelo que esses aspectos terão de ser equacionados de forma separada.

Da análise do gráfico de espinha de peixe (*fishbone*) conclui-se que em relação à intervenção da engenharia industrial esta se centra em dois aspectos: Gestão do projecto e optimização.

## Gestão de projecto

A parte mais importante no processo de gestão de projecto está associada à identificação das tarefas e às precedências estabelecidas entre si.

Para que esta fase do projecto seja bem-sucedida é fundamental identificar claramente as tarefas a executar e estimar a sua sequência e a estimativa de tempo a ela associada. Neste caso concreto e partindo-se do gráfico apresentado na ilustração 19 definiram-se as seguintes macro tarefas: redução de peso (adaptação de um chassi em carbono, construção de uma nova carroçaria e optimização dos órgãos mecânicos), órgãos mecânicos, carroçaria, cablagem estudo aerodinâmico

Assim e tendo em consideração o veículo automóvel de baixo consumo (VABC) definiram-se as seguintes tarefas:

Tabela 6 - Tarefas, descrição e precedências

| Tarefas | Descrição   | Precedências |
|---------|---|--------------|
| 1       | Desenhar alterações para a carroçaria                       |              |
| 2       | Adaptação do molde com roofmate e parafusos                 | 1            |
| 3       | Lixagem do molde  | 2            |
| 4       | Aplicação do gel coat                                       | 3            |
| 5       | Aplicação do betume   | 4            |
| 6       | Lixagem do betume para acabamento do molde                  | 5            |
| 7       | Aplicação de cera   | 6            |
| 8       | Aplicação de fibra de vidro sobre o molde encerado          | 7            |
| 9       | Lixagem da carroçaria de fibra de vidro                     | 8            |
| 10      | Desmoldagem da carroçaria (parte da frente e parte de trás) | 9            |

|    |   |       |
|----|---|-------|
| 11 | Aplicação de fibra de vidro para se fazerem as portas     | 10    |
| 12 | Produção da estrutura interior da carroçaria              | 10    |
| 13 | Lixagem das portas  | 11    |
| 14 | Aplicação da estrutura de suporte e fixação da carroçaria | 12    |
| 15 | Desmoldagem das portas                                    | 13    |
| 16 | Teste - encaixar a carroçaria no chassi                   | 14    |
| 17 | Aplicação de aparelho                                     | 15\16 |
| 18 | Lixagem do aparelho                                       | 17    |
| 19 | Pintura final   | 18    |
| 20 | Desenho da estrutura do chassi                            |       |
| 21 | Cortar as placas de airex                                 | 20    |
| 22 | Colar as placas   | 21    |
| 23 | Resinar as placas e aplicar a fibra de carbono            | 22    |
| 24 | Fibrar as novas partes de carbono no chassi existente     | 16\23 |
| 25 | Desenhar os pedais do acelerador e de travão              |       |
| 26 | Fazer os pedais   | 25    |
| 27 | Fazer os apoios dos pedais                                | 26    |
| 28 | Fazer apoio para as manetes de travão                     | 26\27 |
| 29 | Fazer suporte para o cabo de acelerador com afinação      | 27    |
| 30 | Criar ligação entre o pedal de travão e as manetes        | 28    |
| 31 | Montar as peças que formam o conjunto acelerador/travão   | 29\30 |
| 32 | Desenhar alterações necessárias no motor                  |       |
| 33 | Fazer adaptação para o cabo do acelerador                 | 32    |
| 34 | Fazer as fixações do motor                                | 33    |
| 35 | Fazer escape  | 34    |

|    |   |          |
|----|---|----------|
| 36 | Desenhar os eixos e suportes  |          |
| 37 | Maquinar os eixos   | 36       |
| 38 | Criar suporte de fixação da roda de trás direita e apoio da bomba de travão | 37       |
| 39 | Criar apoios para os eixos da frente de modo a possibilitar a direcção      | 37       |
| 40 | Fazer suporte para fixar as bombas de travão                                | 39       |
| 41 | Criar sistema de fixação de todo o conjunto da frente ao chassi             | 40       |
| 42 | Desenhar os cubos   |          |
| 43 | Maquinar os cubos   | 42       |
| 44 | Fazer os furos para aparafusar os discos de travão                          | 43       |
| 45 | Colocar os rolamentos e discos no cubo                                      | 44       |
| 46 | Projectar o sistema de travagem   |          |
| 47 | Alterar as manetes de travão  | 46       |
| 48 | Medir todo o tubo necessário para ligar todos os componentes                | 46\47    |
| 49 | Fazer as ligações da manete 1 as bombas da frente                           | 48       |
| 50 | Fazer as ligações da manete as bombas de trás                               | 48       |
| 51 | Purgar todo o circuito do ar existente                                      | 49\50    |
| 52 | Desenhar o eixo de transmissão  |          |
| 53 | Maquinar o eixo de transmissão  | 52       |
| 54 | Fixar a pista para a roda livre   | 53       |
| 55 | Fixar o eixo com rolamentos com caixa                                       | 54\56\81 |
| 56 | Colocar a cremalheira no eixo de transmissão                                | 54\55\81 |
| 57 | Desenhar direcção   |          |
| 58 | Fazer a coluna de direcção  | 57       |
| 59 | Fazer volante em carbono  | 57       |
| 60 | Criar fixação volante\coluna de direcção                                    | 59       |

|    |   |             |
|----|---|-------------|
| 61 | Criar apoios para coluna de direcção  | 58\60       |
| 62 | Criar o sistema de ligação entre a coluna de direcção e as barras da direcção | 61          |
| 63 | Fazer barras de direcção com afinação   | 62          |
| 64 | Desenhar as rodas   |             |
| 65 | Fazer os centros em carbono   | 64          |
| 66 | Preparar os aros de alumínio  | 64          |
| 67 | Fazer furo no centro da roda para encaixar no cubo                            | 65          |
| 68 | Fazer quatro furos para a fixação no cubo                                     | 67          |
| 69 | Unir o aro ao centro de carbono   | 66\68       |
| 70 | Montar pedais de acelerador e travão e o motor no chassi                      | 24\31\35    |
| 71 | Projectar a cablagem  | 70          |
| 72 | Fazer furações para os interruptores  | 71          |
| 73 | Criar suporte de bateria e fixa-lo  | 71          |
| 74 | Colocar os interruptores e fixar a caixa dos reles                            | 72          |
| 75 | Montar eixos e apoios no chassi   | 38\41\70    |
| 76 | Medir o comprimento de fio necessário para ligar toda a parte eléctrica       | 73\74       |
| 77 | Passar e fixar fios   | 76          |
| 78 | Fazer as ligações   | 77          |
| 79 | Montar os cubos nos eixos   | 45\76       |
| 80 | Montar o sistema de travagem no chassi  | 51\79       |
| 81 | Montar o eixo de transmissão no chassi  | 55\56       |
| 82 | Montar direcção no chassi   | 63\81       |
| 83 | Aplicação do policarbonato no chassi  | 82          |
| 84 | Montar a carroçaria no chassi   | 78\83\85\86 |
| 85 | Aplicação das luzes de presença, de piscas e do starter na carroçaria de trás | 19          |

|    |  |       |
|----|--|-------|
| 86 | Aplicação das luzes de presença, circulação e piscas na carroçaria da frente | 19    |
| 87 | Aplicação das portas no chassi   | 84    |
| 88 | Aplicação dos espelhos retrovisores nas portas                               | 69\87 |
| 89 | Montar as rodas  | 88    |

Tendo em consideração que se trata de um trabalho académico com alguma incerteza quanto aos tempos de execução uma vez que dependiam em grande parte da disponibilidade dos docentes e alunos as tarefas foram estudadas numa perspectiva de CPM com três tempos estimados:

A principal diferença do CPM com um único tempo estimado, quando comparado com o CPM com três tempos de tarefa estimados consiste no facto deste último utilizar um método estatístico para determinação da probabilidade de conclusão do projecto no tempo estimado. Quanto ao resto para além de algumas diferenças de terminologia e na construção na rede, as abordagens são semelhantes. Como é conhecido a implementação do CPM com três tempos estimados obriga a: i) Identificação de actividades ii) sequenciamento das actividades (por forma a manter as relações de precedência por vezes é necessário recorrer a precedência fictícias) III) Calcular estimativas de tempo para cada actividade:

- a = Tempo optimista
- b = Tempo pessimista
- m = Tempo mais provável

- IV) Cálculo do tempo previsto ( $T_p$ ) Baseado na distribuição estatística beta pondera o tempo mais provável quatro vezes mais do que o tempo optimista e o pessimista, ou seja:

$$T_p = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Equação 1 - Cálculo do tempo previsto

- V) Cálculo das variâncias  $\sigma^2$  dos tempos das actividades

$$\sigma^2 = \left( \frac{b-a}{6} \right)^2$$

Equação 2 - Cálculo das variâncias

VI) Determinação do caminho crítico

- Tempo de fim mais cedo (Fc) = Tempo de início mais cedo (Ic) mais o tempo de execução da tarefa (Te)
  
- Tempo de fim mais tarde (Ft) = Tempo de início mais tarde (It) mais o tempo de execução da tarefa (Te)
  
- Folga =  $It - Ic$

VII) Determinação da probabilidade de terminar o projecto numa dada data

- *Somar os valores de variância associados a cada tarefa no caminho crítico*
  
- *Substituir esses valores na fórmula*  $Z = \frac{D - Fc}{\sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}}$

Equação 3 - Tempo para terminar o projecto

- *Calcular o valor de Z*

As tarefas identificadas na tabela 6 foram representadas sob a forma gráfica tendo resultado a ilustração 20. Sobre este gráfico e para cada tarefa foram identificados os tempos de inicio mais cedo, tempo de fim mais cedo, tempo de inicio mais tarde e tempo de fim mais tarde. Com estes valores foi possível identificar as tarefas que constituem o caminho crítico do projecto.

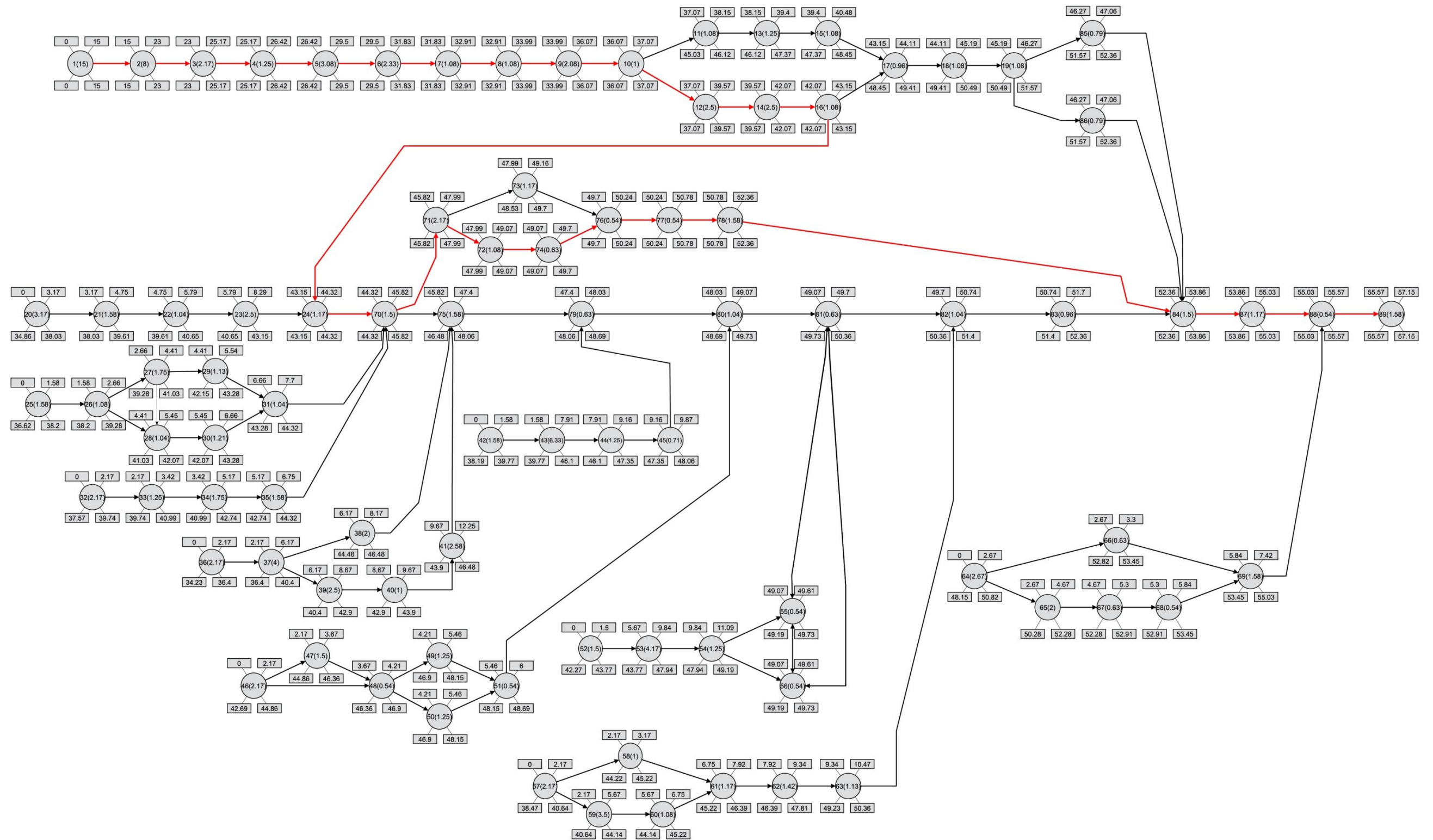


Ilustração 20 - Representação gráfica das tarefas e relações de precedência (CPM 3 tempos estimados)

Às tarefas e precedências indicadas anteriormente foram acrescentados os tempos a m b e o tempo previsto bem como a respectiva variância e a amarela as tarefas que fazem parte do caminho crítico

Tabela 7 - Tempos previstos e variâncias

| Tarefas | Descrição   | Precedências | a   | m   | b   | Tempos esperados | $\sigma^2$ |
|---------|---|--------------|-----|-----|-----|------------------|------------|
| 1       | Desenhar alterações para a carroçaria                       |              | 5   | 15  | 25  | 15               | 11,11111   |
| 2       | Adaptação do molde com roofmate e parafusos                 | 1            | 5   | 7   | 15  | 8                | 2,777778   |
| 3       | Lixagem do molde  | 2            | 1   | 2   | 4   | 2.17             | 0,25       |
| 4       | Aplicação do gel coat                                       | 3            | 0,5 | 1   | 3   | 1.25             | 0,173611   |
| 5       | Aplicação do betume   | 4            | 0,5 | 3   | 6   | 3.08             | 0,840278   |
| 6       | Lixagem do betume para acabamento do molde                  | 5            | 1   | 2   | 5   | 2.33             | 0,444444   |
| 7       | Aplicação de cera   | 6            | 0,5 | 1   | 2   | 1.08             | 0,0625     |
| 8       | Aplicação de fibra de vidro sobre o molde encerado          | 7            | 0,5 | 1   | 2   | 1.08             | 0,0625     |
| 9       | Lixagem da carroçaria de fibra de vidro                     | 8            | 0,5 | 2   | 4   | 2.08             | 0,340278   |
| 10      | Desmoldagem da carroçaria (parte da frente e parte de trás) | 9            | 0,5 | 1   | 1,5 | 1                | 0,027778   |
| 11      | Aplicação de fibra de vidro para se fazerem as portas       | 10           | 0,5 | 1   | 2   | 1.08             | 0,0625     |
| 12      | Produção da estrutura interior da carroçaria                | 10           | 1   | 2,5 | 4   | 2.5              | 0,25       |
| 13      | Lixagem das portas  | 11           | 0,5 | 1   | 3   | 1.25             | 0,173611   |
| 14      | Aplicação da estrutura de suporte e fixação da carroçaria   | 12           | 1   | 2,5 | 4   | 2.5              | 0,25       |
| 15      | Desmoldagem das portas                                      | 13           | 0,5 | 1   | 2   | 1.08             | 0,0625     |

|    |   |       |          |     |     |      |          |
|----|---|-------|----------|-----|-----|------|----------|
| 16 | Teste - encaixar a carroçaria no chassi                 | 14    | 0,5      | 1   | 2   | 1.08 | 0,0625   |
| 17 | Aplicação de aparelho                                   | 15\16 | 0,2<br>5 | 1   | 1,5 | 0.96 | 0,043403 |
| 18 | Lixagem do aparelho                                     | 17    | 0,5      | 1   | 2   | 1.08 | 0,0625   |
| 19 | Pintura final   | 18    | 0,5      | 1   | 2   | 1.08 | 0,0625   |
| 20 | Desenho da estrutura do chassi                          |       | 1        | 3   | 6   | 3.17 | 0,694444 |
| 21 | Cortar as placas de airex                               | 20    | 0,5      | 1,5 | 3   | 1.58 | 0,173611 |
| 22 | Colar as placas   | 21    | 0,2<br>5 | 1   | 2   | 1.04 | 0,085069 |
| 23 | Resinar as placas e aplicar a fibra de carbono          | 22    | 1        | 2,5 | 4   | 2.5  | 0,25     |
| 24 | Fibrar as novas partes de carbono no chassi existente   | 16\23 | 0,5      | 1   | 2,5 | 1.17 | 0,111111 |
| 25 | Desenhar os pedais do acelerador e de travão            |       | 0,5      | 1,5 | 3   | 1.58 | 0,173611 |
| 26 | Fazer os pedais   | 25    | 0,5      | 1   | 2   | 1.08 | 0,0625   |
| 27 | Fazer os apoios dos pedais                              | 26    | 0,5      | 1,5 | 4   | 1.75 | 0,340278 |
| 28 | Fazer apoio para as manetes de travão                   | 26\27 | 0,2<br>5 | 1   | 2   | 1.04 | 0,085069 |
| 29 | Fazer suporte para o cabo de acelerador com afinação    | 27    | 0,2<br>5 | 1   | 2,5 | 1.13 | 0,140625 |
| 30 | Criar ligação entre o pedal de travão e as manetes      | 28    | 0,2<br>5 | 1   | 3   | 1.21 | 0,210069 |
| 31 | Montar as peças que formam o conjunto acelerador/travão | 29\30 | 0,2<br>5 | 1   | 2   | 1.04 | 0,085069 |
| 32 | Desenhar alterações necessárias no motor                |       | 1        | 2   | 4   | 2.17 | 0,25     |
| 33 | Fazer adaptação para o cabo do acelerador               | 32    | 0,5      | 1   | 3   | 1.25 | 0,173611 |
| 34 | Fazer as fixações do motor                              | 33    | 0,5      | 1,5 | 4   | 1.75 | 0,340278 |
| 35 | Fazer escape  | 34    | 0,5      | 1,5 | 3   | 1.58 | 0,173611 |

|    |   |          |      |     |     |      |          |
|----|---|----------|------|-----|-----|------|----------|
| 36 | Desenhar os eixos e suportes  |          | 1    | 2   | 4   | 2.17 | 0,25     |
| 37 | Maquinar os eixos   | 36       | 2    | 4   | 6   | 4    | 0,444444 |
| 38 | Criar suporte de fixação da roda de trás direita e apoio da bomba de travão | 37       | 1    | 2   | 3   | 2    | 0,111111 |
| 39 | Criar apoios para os eixos da frente de modo a possibilitar a direcção      | 37       | 1    | 2,5 | 4   | 2.5  | 0,25     |
| 40 | Fazer suporte para fixar as bombas de travão                                | 39       | 0,5  | 1   | 1,5 | 1    | 0,027778 |
| 41 | Criar sistema de fixação de todo o conjunto da frente ao chassi             | 40       | 1,5  | 2,5 | 4   | 2.58 | 0,173611 |
| 42 | Desenhar os cubos   |          | 0,5  | 1,5 | 3   | 1.58 | 0,173611 |
| 43 | Maquinar os cubos   | 42       | 4    | 6,5 | 8   | 6.33 | 0,444444 |
| 44 | Fazer os furos para aparafusar os discos de travão                          | 43       | 0,5  | 1   | 3   | 1.25 | 0,173611 |
| 45 | Colocar os rolamentos e discos no cubo                                      | 44       | 0,25 | 0,5 | 2   | 0.71 | 0,085069 |
| 46 | Projectar o sistema de travagem   |          | 1    | 2   | 4   | 2.17 | 0,25     |
| 47 | Alterar as manetes de travão  | 46       | 0,5  | 1,5 | 2,5 | 1.5  | 0,111111 |
| 48 | Medir todo o tubo necessário para ligar todos os componentes                | 46\47    | 0,25 | 0,5 | 1   | 0.54 | 0,015625 |
| 49 | Fazer as ligações da manete 1 as bombas da frente                           | 48       | 0,5  | 1   | 3   | 1.25 | 0,173611 |
| 50 | Fazer as ligações da manete as bombas de trás                               | 48       | 0,5  | 1   | 3   | 1.25 | 0,173611 |
| 51 | Purgar todo o circuito do ar existente                                      | 49\50    | 0,25 | 0,5 | 1   | 0.54 | 0,015625 |
| 52 | Desenhar o eixo de transmissão  |          | 0,5  | 1,5 | 2,5 | 1.5  | 0,111111 |
| 53 | Maquinar o eixo de transmissão  | 52       | 2    | 4   | 7   | 4.17 | 0,694444 |
| 54 | Fixar a pista para a roda livre   | 53       | 0,5  | 1   | 3   | 1.25 | 0,173611 |
| 55 | Fixar o eixo com rolamentos com caixa                                       | 54\56\81 | 0,25 | 0,5 | 1   | 0.54 | 0,015625 |

|    |   |          |      |     |     |      |          |
|----|---|----------|------|-----|-----|------|----------|
| 56 | Colocar a cremalheira no eixo de transmissão                                  | 54\55\81 | 0,25 | 0,5 | 1   | 0.54 | 0,015625 |
| 57 | Desenhar direcção   |          | 1    | 2   | 4   | 2.17 | 0,25     |
| 58 | Fazer a coluna de direcção  | 57       | 0,5  | 1   | 1,5 | 1    | 0,027778 |
| 59 | Fazer volante em carbono  | 57       | 2    | 3,5 | 5   | 35   | 0,25     |
| 60 | Criar fixação volante\coluna de direcção                                      | 59       | 0,5  | 1   | 2   | 1.08 | 0,0625   |
| 61 | Criar apoios para coluna de direcção  | 58\60    | 0,5  | 1   | 2,5 | 1.17 | 0,111111 |
| 62 | Criar o sistema de ligação entre a coluna de direcção e as barras da direcção | 61       | 0,5  | 1,5 | 2   | 1.42 | 0,0625   |
| 63 | Fazer barras de direcção com afinação   | 62       | 0,25 | 1   | 2,5 | 1.13 | 0,140625 |
| 64 | Desenhar as rodas   |          | 1    | 2,5 | 5   | 2.67 | 0,444444 |
| 65 | Fazer os centros em carbono   | 64       | 1    | 2   | 3   | 2    | 0,111111 |
| 66 | Preparar os aros de alumínio  | 64       | 0,25 | 0,5 | 1,5 | 0.63 | 0,043403 |
| 67 | Fazer furo no centro da roda para encaixar no cubo                            | 65       | 0,25 | 0,5 | 1,5 | 0.63 | 0,043403 |
| 68 | Fazer quatro furos para a fixação no cubo                                     | 67       | 0,25 | 0,5 | 1   | 0.54 | 0,015625 |
| 69 | Unir o aro ao centro de carbono   | 66\68    | 0,5  | 1,5 | 3   | 1.58 | 0,173611 |
| 70 | Montar pedais de acelerador e travão e o motor no chassi                      | 24\31\35 | 0,5  | 1,5 | 2,5 | 1.5  | 0,111111 |
| 71 | Projectar a cablagem  | 70       | 1    | 2   | 4   | 2.17 | 0,25     |
| 72 | Fazer furações para os interruptores  | 71       | 0,5  | 1   | 2   | 1.08 | 0,0625   |
| 73 | Criar suporte de bateria e fixa-lo  | 71       | 0,5  | 1   | 2,5 | 1.17 | 0,111111 |
| 74 | Colocar os interruptores e fixar a caixa dos reles                            | 72       | 0,25 | 0,5 | 1,5 | 0.63 | 0,043403 |
| 75 | Montar eixos e apoios no chassi   | 38\41\70 | 0,5  | 1,5 | 3   | 1.58 | 0,173611 |

|    |   |                 |          |      |     |      |          |
|----|---|-----------------|----------|------|-----|------|----------|
| 76 | Medir o comprimento de fio necessário para ligar toda a parte eléctrica       | 73\74           | 0,2<br>5 | 0,5  | 1   | 0.54 | 0,015625 |
| 77 | Passar e fixar fios   | 76              | 0,2<br>5 | 0,5  | 1   | 0.54 | 0,015625 |
| 78 | Fazer as ligações   | 77              | 0,5      | 1,5  | 3   | 1.58 | 0,173611 |
| 79 | Montar os cubos nos eixos   | 45\76           | 0,2<br>5 | 0,5  | 1,5 | 0.63 | 0,043403 |
| 80 | Montar o sistema de travagem no chassi  | 51\79           | 0,2<br>5 | 1    | 2   | 1.04 | 0,085069 |
| 81 | Montar o eixo de transmissão no chassi  | 55\56           | 0,2<br>5 | 0,5  | 1,5 | 0.63 | 0,043403 |
| 82 | Montar direcção no chassi   | 63\81           | 0,2<br>5 | 1    | 2   | 1.04 | 0,085069 |
| 83 | Aplicação do policarbonato no chassi  | 82              | 0,2<br>5 | 1    | 1,5 | 0.96 | 0,043403 |
| 84 | Montar a carroçaria no chassi   | 78\83\<br>85\86 | 0,5      | 1,5  | 2,5 | 1.5  | 0,111111 |
| 85 | Aplicação das luzes de presença, de piscas e do starter na carroçaria de trás | 19              | 0,2<br>5 | 0,75 | 1,5 | 0.79 | 0,043403 |
| 86 | Aplicação das luzes de presença, circulação e piscas na carroçaria da frente  | 19              | 0,2<br>5 | 0,75 | 1,5 | 0.79 | 0,043403 |
| 87 | Aplicação das portas no chassi  | 84              | 0,5      | 1    | 2,5 | 1.17 | 0,111111 |
| 88 | Aplicação dos espelhos retrovisores nas portas                                | 69\87           | 0,2<br>5 | 0,5  | 1   | 0.54 | 0,015625 |
| 89 | Montar as rodas   | 88              | 0,5      | 1,5  | 3   | 1.58 | 0,173611 |

Tendo em consideração as variâncias obtidas e o tempo de final mais cedo para o projecto, 57,15 dias foi-se determinar o número de dias necessários para que o projecto fosse concluído dentro do prazo.

Pela tabela de distribuição normal cumulativa verifica-se que um valor de Z correspondente a 3,5 a probabilidade de conclusão é 99,997% .

De acordo com a formula:

$$Z = \frac{D - Fc}{\sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}} \Leftrightarrow 3,5 = \frac{D - 57,15}{\sqrt{17,85}} \Leftrightarrow D \cong 80$$

Equação 4 - Probabilidade de conclusão

Definiu-se então como tempo necessário à execução do projecto 80 dias úteis.

## Optimização

O processo de optimização passa em grande parte pela observação atenta dos órgãos mecânicos utilizados em edições anteriores. Da análise efectuada com recurso ao diagrama em espinha de peixe identificaram-se os seguintes pontos de melhoria: i) Melhorar os órgãos mecânicos; ii) Melhorar a componente aerodinâmica do veículo; iii) Aumentar a eficiência do motor e iv) Reduzir o peso.



Ilustração 21 - Veículo anterior ao projecto



Ilustração 22 - Veículo após o projecto

## **Melhorar os órgãos mecânicos**

A melhoria dos órgãos mecânicos incluiu análise do motor, este trabalho foi desenvolvido no âmbito de outra tese de mestrado; Análise e melhoria do sistema de travagem, e do sistema de transmissão, desenvolvido no âmbito do mestrado

O sistema de travagem foi completamente renovado com recurso a pedais e apoios em fibra de carbono e utilização de bombitos mais leves. Também o sistema de transmissão foi alterado passando a fazer-se a uma só roda o que permitiu reduzir a dimensão do veio e consequentemente o seu peso. Este sistema de transmissão veio aumentar consideravelmente a fiabilidade do carro uma vez que era recorrente falhas na corrente de transmissão. Desta feita a alteração efectuada no veio e no suporte no chassi permitiu eliminar este problema.



Ilustração 23 - Conjunto acelerador/travão e suporte de roda

## Melhorar a aerodinâmica

Um dos componentes que foi analisado foi a carroçaria. Através de simulação computacional foi possível efectuar o estudo aerodinâmico (José C. Páscoa et all), o que permitiu identificar algumas zonas de maior atrito aerodinâmico conforme se pode identificar na ilustração 24

como sendo as zonas a vermelho. Este trabalho permitiu proceder a algumas alterações na carroçaria existente que resultou nos trabalhos preconizados nas tarefas 1 a 16.

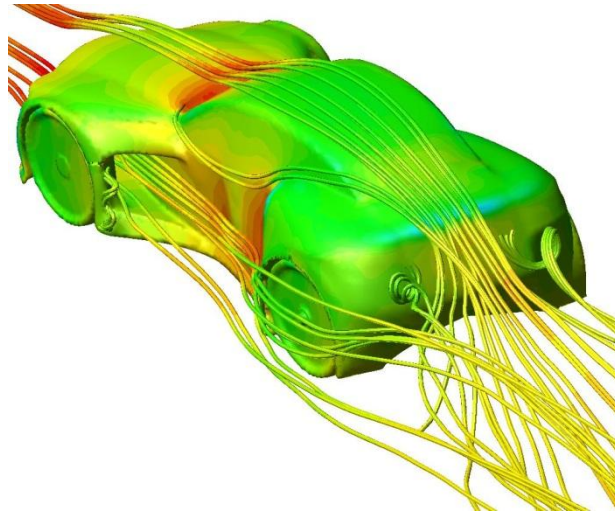


Ilustração 24 - Representação dos efeitos aerodinâmicos

A ilustração demonstram trabalho desenvolvido



Ilustração 25 - Testes aerodinâmicos e alterações necessárias

## Aumentar a eficiência do motor

Sobre esta matéria foi efectuado um conjunto de trabalhos no âmbito de outros mestrados, nomeadamente introdução de injeção electrónica e alteração da árvore de cames. Estas alterações não chegaram a ser incorporadas no carro por se considerar que não estavam suficientemente testadas.

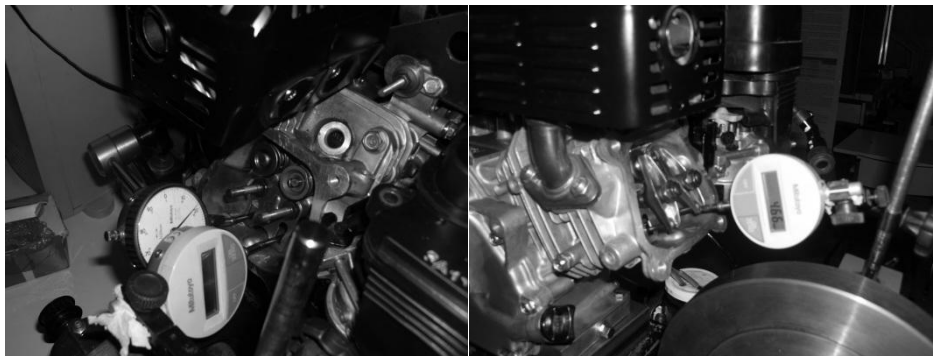


Ilustração 26 - Medição do ângulo de abertura das válvulas

## Reduzir o peso

Na generalidade todas as tarefas atrás referidas contribuíram também para a redução do peso final do veículo. Contudo houve um conjunto de trabalhos que se desenvolveram com este objectivo específico, nomeadamente: construção de um chassi integralmente em fibra de carbono e a melhoria da estrutura de suporte da carroçaria.



Ilustração 27 - Chassi em fibra carbono

## Conclusão

O ensino centrado no aluno e a necessidade de redução da taxa de abandono no ensino das engenharias tem conduzido ao desenvolvimento de novas metodologias de ensino/aprendizagem.

O PCLD, apresentado neste trabalho, é uma metodologia estudada e aperfeiçoada ao longo de 12 anos por docentes da universidade da beira interior com resultados comprovados. Durante este período de tempo os PCLD foram testados como metodologia de ensino, tendo sido disponibilizado como processo de aprendizagem a mais de 120 alunos. No âmbito do PCLD mais de uma dezena de alunos realizaram os seus trabalhos de investigação conducentes ao grau de mestre.

Quanto a caso de estudo melhoria de desempenho do veículo automóvel de baixo consumo mostrou-se que se trata de um excelente meio de promover os PCLD.

Quanto aos resultados deste trabalho foram evidentes na redução do peso que passou de 160 Kg para 120 Kg, no decréscimo do consumo que passou dos 128Km/l para os 164 Km/l e no aumento da fiabilidade tendo o carro terminado 4 das cinco tentativas que teve para concluir a prova.

Este trabalho foi apresentado numa conferência internacional e publicado como capítulo de um livro.

## Bibliografia

Abdulwahed M. and Nagy Z.K, (2009), Applying Kolb's Experiential Learning Cycle for Laboratory Education, Journal of engineering Education 283-294.

Charyton C., Merrill J. (2009) Assessing General Creativity and Creative Engineering Design in First Year Engineering Students, Journal of Engineering Education, 145-154

Chase R Jacobs F. Operations Management for Competitive Advantage 11th edition, McGraw-Hill, 2006

COOPER, R. G.; EDGETT, S. J.; KLEINSCHMIDT, E. J. Portfolio Management in New Product Development: lessons from the leaders - I. Research Technology Management, (1997). v. 40(5). pp 16-28.

Elshorbagy, A. and D. J. Schönwetter. (2002). Engineer morphing: Bridging the gap between classroom teaching and the engineering profession. International Journal of Engineering Education 18 (3): 295-300.

Evans, J. R., (2005), Total quality management, organization and strategy 4<sup>th</sup> edition. Mason OH: Thomson South-Western

Hofstein, A. and V.N. Lunetta. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. Science Education 88 (1): 28-54

Pande, P. S., Holpp, (2001), what is six sigma? New York McGraw-Hill Trade

José C. Páscoa, Nelson M. Mendes, Francisco P. Brójo, Fernando C. Santos, Paulo O. Fael "NUMERICAL AND EXPERIMENTAL REAL SCALE MODELLING OF AERODYNAMIC COEFFICIENTS FOR AN HIGH-PERFORMANCE VEHICLE, "Congresso de Métodos Numéricos em Engenharia - CMNE (2011), Coimbra, de 14 a 17 de Junho.

Scavarda, A. J., Bouzdine-Chameeva, T., Goldstein, S. M., Hays, J. M. and Hill, A.V., (2006), Methodology for Constructing Collective Casual Maps, Decisions Sciences, 37(2):263-283.

Sorach (2006), Structured decision making with interpretive structural modeling, Ottawa, Canada, Author.

Kolb, D.A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Leydens e Schneider (2009) Innovations in composition programs that educate engineers: drives, opportunities and challenges. *Journal of Engineering Education* pp 255-271

Seymour E., and N.M. Hewitt. (1997). *Talking about leaving: Why undergraduates leave the sciences*. Boulder, CO: Westview Press.

Yadav A, Shaver G.M and Meckel P. Lessons Learned: Implementing the case teaching method in a mechanical engineering course. *Journal of engineering Education*

Simonton, D.K. (2000). Creativity: Cognitive, personal, developmental and social aspects. *American Psychologist* 55 (1): 151-58.

Thompson, G. and M. Jordan. (1999). Review of creativity principles applied to engineering design. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering* 213 (1): 17-31.

# Anexos

**Paulo FAEL, Fernando SANTOS\*, Bruno PONTES; Francisco BROJO, José PÁSCOA, Luís CORREIA; Celine ALVES; Nuno RODRIGUES**

University of Beira Interior, Electromechanical Department, calçada Fonte do Lameiro, 6200 001 Covilhã, Portugal English

*\*bigares@ubi.pt*

## **DESIGN AND CONSTRUCTION OF A CAR BODY IN FIBER GLASS – CASE STUDY**

**Summary.** The present work was done during a construction project of a low consumption vehicle which has been developed by the Universidade da Beira Interior during the last thirteen years. The vehicle was developed to participate in an european competition (in Lausitzring - Germany), promoted by the petrol company, Shell. The body was designed in order to allow the use of the chassis and remaining mechanical components developed during the previous years, with the intent to apply to the design prize of the Shell competition.

During the project, a construction methodology was developed in order to allow the construction with less expensive tools and materials. The methodology used was: selection and development of the base concept, body construction, assembly of the body into the chassis and final tests of the vehicle. At the end of the paper are presented some conclusions about the developed project.

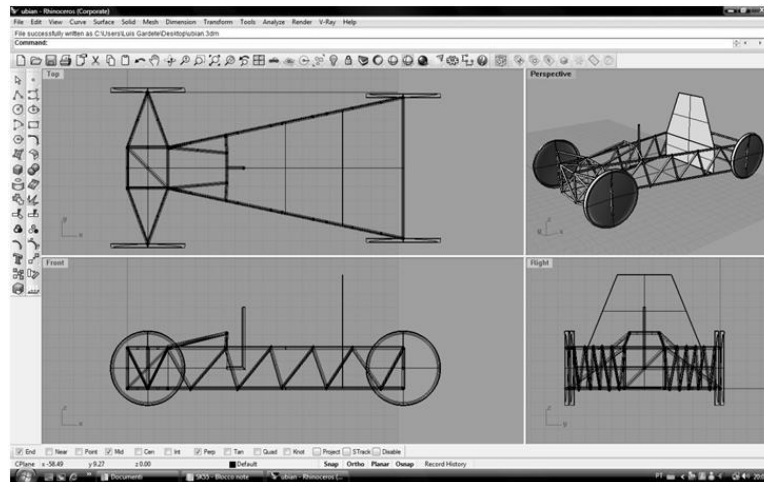
### **INTRODUCTION**

This kind of project, besides the scientific component it presents it is also very important from the pedagogic point of view, since it allows the participation of students with different backgrounds (Industrial Design, Industrial Management and Engineering, Electromechanical Engineering and Mechanical Engineering). This way, the students can consolidate and apply the theoretical knowledge acquired in classes and also obtain workgroup habits during brainstorm and construction sessions [1].

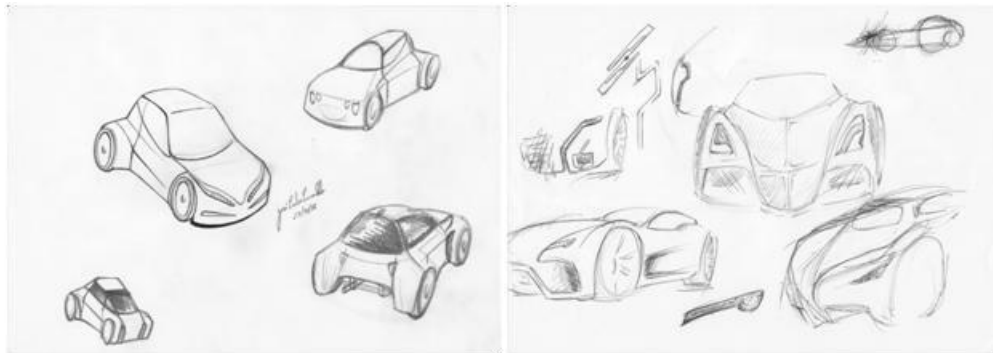
At the first stage, it was demanded to the industrial design students the presentation of concepts able to represent the project spirit, with an innovateur design and without compromise to the vehicle aerodynamics. It was decided that the body design must be able to be applied to the mechanical structure already developed (see Fig. 1) and respect the competition reglement in all it's requirements.

## SELECTION AND DEVELOPMENT OF THE CONCEPT.

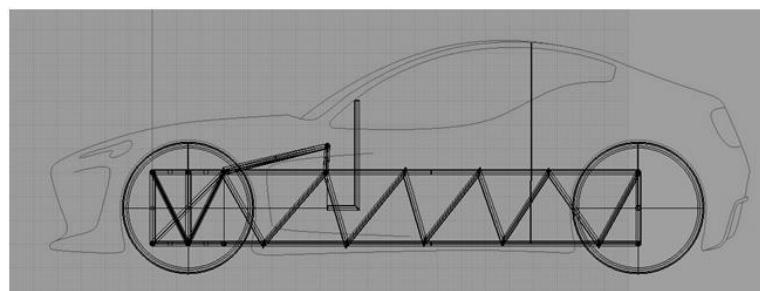
The students presented several freehand sketches concepts for the first evaluation of viable concepts. Some examples are presented in Fig. 2. After the first selection, it was demanded the concept development using this time a CAD software, in order to allow to check interference between the body and remaining mechanical components (see Fig. 3). The final concept selected was then refined, resulting in the design presented in Fig. 4.



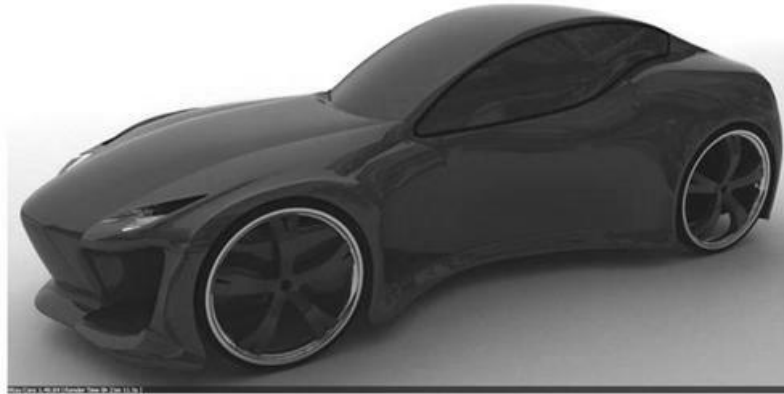
Drawings of existent chassi



First freehand sketches



Interference body/chassi



Selected concept

### CONSTRUCTION METHODOLOGY

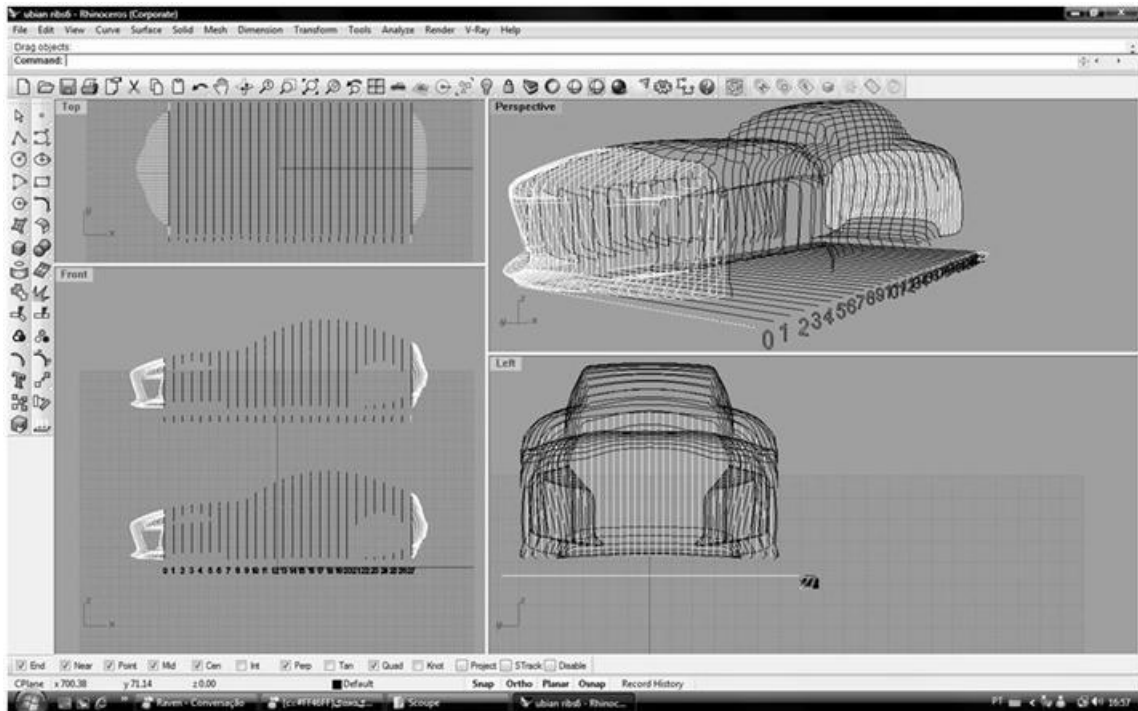
The fabrication using glass or carbon fiber demands a construction of a real scale model. From this model one can choose between: i) the construction of a mould from which the final part can be obtained; ii) the obtention of the final part placing the fiber directly over the model.

Using the mould process the part has a better finishing, but the process is more slow. Nevertheless, using a vacuum pump the part finishing can be improved. For the present case and considering the available tooling, the utilization of vacuum was difficult and the cast process will increase the price of the parts beyond the allowable. Since the parts were to be made manually, the mould process also will increase dimensioning errors. This way, it was decided to make the parts directly over the model.

The fabrication of the body was then divided into four steps: i) construction of the model; ii) construction of the fiber parts over the model; iii) improvement of surface finishing and painting; iv) assembly of the body over the chassi.

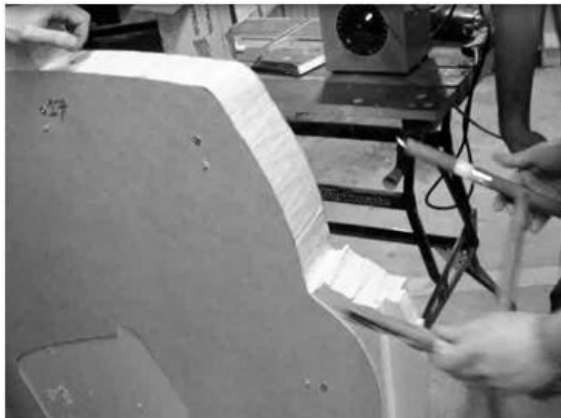
### Model construction

The first step, which was very important for the success of the project, was the construction of the model. Since it was not available a CNC machining system to produce the model, the model was hand made, using a methodology that allow the most exact construction of the body presented in Fig. 4. It was decided to use MDF "Medium Density Fiberboard" and roofmate material for the construction of the model. From the CAD drawing, were made sections of the central body spaced 9 centimeters apart (three roofmate boards). The front and rear of the body were made with sections 3 centimeters apart. In Fig. 5 can be seen the sections made



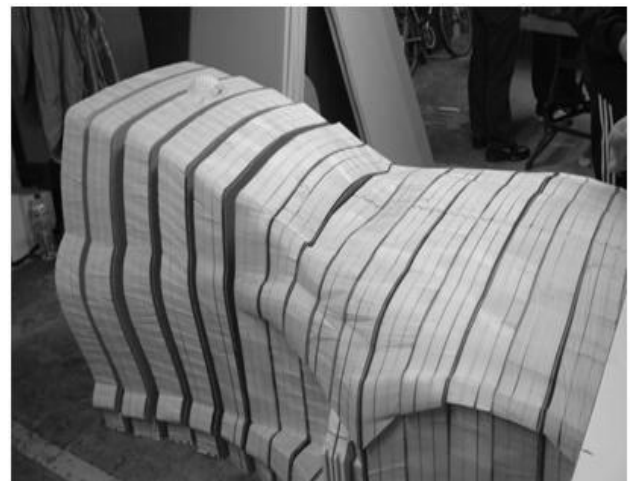
Sections of the body for the model construction

All the sections were plotted at real scale and reproduced in the MDF boards. The MDF boards were then used as guides to cut the roofmate as presented in Fig. 6.



Every section on Fig. 6 is made with three roofmate boards, between two MDF boards and the roofmate was then cut using a hot

wire. The presented process was repeated to all the body sections. The roofmate and MDF sections were then screwed to the next ones, being obtained the central body of the model (Figs. 7 and 8).



Corte do roofmat a fio quente

The front and the rear sections were then cut using the same methodology, using this time just one roofmate board between the MDF ones, due to the complexity of the surface. The sections were then connected to the remaining model body as in Fig. 9.

View of several boards of the central body

As can be seen from the figures 8 and 9, the model was satisfactorily reproduced. Nevertheless, the surface finishing was very poor, not allowing the direct work with glass or carbon fiber.



It was then necessary to improve the finishing using gesso, which was then sanded in order to obtain a smooth finishing.

**Placement of the fiber over the model**

Before covering the model with the fiber, it was necessary to apply wax over the surface to allow the easier removal of the final body from the model. Over the wax was then put a layer of gelcoat, which allows a high-quality finish on the visible surface of a fibre-reinforced composite material. The most common gelcoats are based on epoxy or unsaturated polyester resin chemistry. Gelcoats are modified resins which are applied to moulds in the liquid state. They are cured to form crosslinked polymers and are subsequently backed up with composite polymer matrices, often mixtures of polyester resin and fiberglass or epoxy resin with glass, aramid and/or carbon fibres.

Central body



Complete model in roofmate and MDF

Before the final drying of the gelcoat the first layer of glass fiber was applied, allowing this way the perfect connection between the gelcoat and the fiber. Thereafter, a second layer was applied over all the surface and several layers over the most mechanical stressed areas. It is important to stress out that the body of this vehicle is not a structural component, not being submitted to high stresses. The existing forces result only from the body weight, aerodynamic forces and vibration originating on the vehicle movement. The resin used was an epoxy mixed with a hardener in the appropriate proportions. Since the roofmate is not compatible with polyester resin (less expensive), the final body become more expensive than it could. The drying time of the available epoxy resin was higher than the one for the polyester resin. After drying, a fine layer of fiber and resin was taken out of the model (Fig. 10), over which all the connection supports to the chassi were placed thereafter.



Body of fiber and resin obtained from the model

### **Surface finishing and painting**

The obtained body was finished with epoxy resin, allowing the removal of small surface imperfections before painting. Before the painting process, the body was polished and the holes for the lights and other detail work were then done. After painting, some parts for body finishing were placed as seen in Fig. 11.



## Finishing

### Assembly into the chassi

The body obtained was then assembled over the chassi, which was made of rectangular tube steel as seen in Fig. 12.



Photos of the final vehicle during the competition

### CONCLUSIONS

The developed work comprised several layers, which one must stress out: it was an applied research work with strong multidisciplinary components involving the following areas: industrial design, mechanical technology, materials fluid mechanics (vehicle aerodynamics).

Several works were also done in parallel: vehicle dynamics, aerodynamics optimization and engine tuning for consumption reduction. Nevertheless, they fall out the scope of this paper, not being then related here.

It can be concluded that the construction methodology allows the exact reproduction of the CAD design (dimension deviation smaller than 1% of the construction part). Accordingly, the presented methodology shows potential to be further used in applied research work.

As future work, it is pretended to build a carbon fiber chassi and to reproduce the fiber glass body also using carbon fiber. This way a reduction in 38% in the vehicle weight is expected.

### **Bibliography**

Leydens J. A.: Innovations in Composition Programs *that Educate Engineers: Drives, Oportunities, and Chalanges*. Journal of Engineering Education 2009, pp. 255–271.

Charyton C., Merrill J. A.: *Assessing General Creativity and Creative Engineering Design in First Year Engineering Students*. Journal of Engineering Education 2009, pp. 145–159.