

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



FEUP

Desenvolvimento de Add-in de Ecodesign para Software de CAD Solidworks e Sincronização com Base de Dados

Hugo Norberto Jesus Meira

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Orientador: Armando Jorge Miranda de Sousa (Professor)

28 de Junho de 2010

Desenvolvimento de Add-in de Ecodesign para Software de CAD Solidworks e Sincronização com Base de Dados

Hugo Norberto Jesus Meira

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Aprovado em provas públicas pelo júri:

Presidente: Rui Pedro Amaral Rodrigues (Professor Auxiliar Convidado)

Vogal Externo: Paulo Miguel Nogueira Peças (Professor Auxiliar)

Orientador: Armando Jorge Miranda de Sousa (Professor Auxiliar)

31 de Julho de 2010

Resumo

A preocupação com questões relacionadas com preservação do meio ambiente, presente em todos os quadrantes da sociedade e uma pressão crescente exercida pela legislação emitida nos últimos tempos, levou a uma maior responsabilidade dos fabricantes que tentam melhorar o desempenho ambiental dos seus produtos. É neste contexto que o Ecodesign se insere, entendendo-se por Ecodesign a integração sistemática de aspectos ambientais de todo o ciclo-de-vida do produto (produção, uso e fim-de-vida) em fases iniciais do seu desenvolvimento e concepção, destacando potencialidades e fragilidades ambientais e fornecendo, assim, importantes orientações para as equipas de desenvolvimento de produtos.

A Avaliação do Ciclo-de-Vida (*Life Cycle Assessment*, LCA) está a tornar-se cada vez mais importante como ferramenta de avaliação no âmbito do *design* de produtos. LCA permite avaliar os impactos causados durante toda a vida do produto e destacar os pontos fracos e áreas que requerem atenção especial e melhoria. No entanto, a sua utilização requer um elevado esforço para recolher e catalogar uma extensa quantidade de dados, operação que traz custos adicionais e consome bastante tempo, levando a que muitas empresas afastem a hipótese de envolver o LCA na fase de concepção dos seus produtos.

Este projecto surge da necessidade da maximização das vantagens e redução das desvantagens da plena aplicação do LCA e, na aposta do aproveitamento da extensa utilização de ferramentas de Desenho Assistido por Computador (*Computer-Aided Design*, CAD) para desenvolvimento de produtos e nas diversas informações geométricas contidas nos seus modelos digitais que podem ser usadas como entradas dos cálculos LCA, tendo como objectivo o desenvolvimento de uma plataforma para suporte ao Desenvolvimento do Produto que permita, durante a modelação de produtos, a extracção automática de dados relevantes do CAD, a inserção paralela de informação adicional e a normalização de todos estes dados para serem usados em software de LCA.

A solução projectada e implementada é constituída por um add-in para um software de CAD e uma aplicação que pode funcionar também como add-in ou independentemente do CAD. O add-in permite a interacção com o modelo digital do produto, extrair informações relevantes deste e criar uma interface para que o utilizador facilmente introduza informações junto do processo de modelação num ambiente amigável e que permitirá melhorar a organização dos dados em causa. Na aplicação, os dados obtidos a partir do modelo via add-in podem ser carregados por forma a serem facilmente visualizados e editados e, posteriormente, automaticamente exportados para um software que realiza os cálculos LCA.

Durante e posteriormente à implementação foram realizados diversos testes para comprovar a qualidade e viabilidade da solução proposta, foram obtidos resultados bastante satisfatórios principalmente no que respeita à fiabilidade dos dados tratados e à utilidade da plataforma na redução efectiva do tempo necessário para realizar o LCA.

Abstract

The concern with issues related to preserving the environment, present in all levels of society, and increasing pressure exerted by legislation issued in recent times, led to greater responsibility of manufacturers that are trying to improve the environmental performance of their products. It is in this scope that Ecodesign shows up, where Ecodesign means the systematic integration of environmental aspects of the entire product life cycle (production, use and end-of-life) in the early stages of its development and design, highlighting environmental strengths and weaknesses and providing important guidelines for product designers.

Life cycle assessment (LCA) is becoming increasingly more important as an assessment tool within the design of products. LCA may be used to evaluate the environmental impact during the entire life cycle of a product, and to highlight weak points and areas requiring special attention and improvement. However, the LCA application requires a great effort to collect and categorize a large amounts of data, an operation which brings additional costs and is very time consuming, causing that many companies don't involve the LCA during the design of their products.

This project arises from the need to reduce the disadvantages of full application of LCA, betting on the exploitation of the massive use of Computer-Aided Design (CAD) tools for product development and the geometrical informations contained in their digital models that can be used as inputs of LCA calculations. The aim of this project is developing a platform to support product design that allows the automatic extraction of relevant data from CAD, the parallel insertion of additional information and the standardization of all these data for use in LCA software.

The implemented solution consists of an add-in for a CAD software and an application that can also be used as an add-in or independently of the CAD. The add-in enables interaction with the digital model of the product, extract relevant information from this and create an interface where the user can easily introduce complementary information. In the application, the data obtained from the model by the add-in can be loaded in order to be easily viewed and edited and then automatically exported to a software that performs the LCA.

During and after the implementation were carried out some tests to prove the quality and the viability of the proposed solution. Satisfactory results were obtained, especially regarding to reliability of processed data and the usefulness of the platform on the effective reduction of the time needed to perform the LCA.

Agradecimentos

Agradeço a todas as pessoas ligadas ao projecto Green Bender do INEGI por todo o suporte, em especial ao Eng. João Paulo Pereira, pela oportunidade e condições que me deu para realizar este projecto, à Dra. Marta Oliveira, pelo seu incansável e precioso apoio e disponibilidade e ao Daniel Sequeira, pelo óptimo ambiente de trabalho e espírito de entreaajuda.

Ao Professor Armando Sousa um sincero agradecimento pela sua orientação, por toda a ajuda, incentivos e entusiasmo.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, nos seus docentes e funcionários, por todas as condições, recursos e ensinamentos que me proporcionaram.

A todos os Amigos que fiz nesta casa, pela sua presença constante, por todo o suporte incondicional, pelos momentos que com eles passei e que jamais esquecerei, por terem feitos dos últimos 5 anos os melhores da minha vida.

Aos meus pais, Albertina e Norberto, por tudo que me ensinaram, pelos valores que me transmitiram, pela ajuda constante, concreta e infatigável e por todos os sacrifícios que fizeram desde sempre. A eles devo tudo o que sou e este breve agradecimento não consegue reflectir toda a gratidão que por eles tenho.

Hugo

*“Vivemos todos, neste mundo, a bordo de um navio,
saído de um porto que desconhecemos, para um porto que ignoramos;
devemos ter, uns para os outros, uma amabilidade de viagem”*

Fernando Pessoa

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto	1
1.2	Motivação e Objectivos	2
1.3	Enquadramento	3
1.4	Estrutura da Dissertação	3
2	Âmbito do Trabalho	5
2.1	Design Industrial	5
2.2	Ciclo-de-Vida do Produto	5
2.2.1	Impactos Ambientais durante o Ciclo-de-Vida	6
2.2.2	Ciclo de Desenvolvimento	7
2.2.3	Ciclo Físico	8
2.3	Desenvolvimento Sustentável	10
2.3.1	Ecologia Industrial	11
2.4	Ecodesign	11
2.4.1	História	13
2.4.2	Equipamentos Utilizadores de Energia	13
2.4.3	Vantagens	14
2.4.4	Dificuldades	15
2.5	Ferramentas para o Ecodesign	15
2.5.1	Análise de Ciclo-de-Vida	16
2.5.2	Métodos Simplificados de LCA	18
2.5.3	Design for X	19
2.5.4	Métricas	20
2.5.5	Software	20
2.6	Enquadramento Normativo do Trabalho	22
2.6.1	ISO 14001:2004 e ISO 14004:2004	22
2.6.2	Incentivo ao Abate de Veículos em Fim de Vida	23
2.6.3	Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos	23
2.6.4	Restrição de Substâncias Perigosas	23
2.6.5	Directiva Ecodesign para Equipamentos Utilizadores de Energia	23
2.6.6	Série ISO 1404X	23
2.6.7	ISO 14062	24
2.7	Desenho Assistido por Computador	25
2.8	CAD e Ecodesign	28
2.8.1	Soluções Existentes	29

CONTEÚDO

3	Análise do Trabalho	37
3.1	Visão geral	37
3.1.1	Identificação de Requisitos	37
3.1.2	Objectivos	37
3.1.3	Proposta do Cliente	38
3.2	Requisitos	41
3.2.1	Requisitos Funcionais	41
3.2.2	Requisitos Não Funcionais	44
4	Implementação	47
4.1	Solução	47
4.1.1	Add-in CAD	48
4.1.2	Aplicação Central	56
4.1.3	Base de Dados	60
4.2	Detelhes de Implementação	63
4.2.1	Add-in CAD	63
4.2.2	Aplicação Central	66
4.3	Ferramentas	66
4.3.1	SolidWorks	66
4.3.2	Framework .NET	67
4.3.3	C#	67
4.3.4	ADO.NET	68
4.3.5	SQL Server Compact	68
4.4	Processo de Desenvolvimento de Software	69
5	Resultados	71
5.1	Validação	71
5.1.1	Fiabilidade de Dados	71
5.1.2	Utilidade	72
5.2	Usabilidade	73
5.3	Comparação com Soluções Existentes	74
6	Conclusões	77
6.1	Trabalho Desenvolvido	77
6.2	Contribuições	78
6.3	Trabalho Futuro	78
	Referências	81
A	Métodos Simplificados de LCA	87
B	Caso de Estudo: Painel de Auto-Estrada	89
C	Manual de Instruções	93

Lista de Figuras

2.1	Ciclo-de-vida de produto	6
2.2	Interações com o ambiente durante o ciclo-de-vida [GRR06]	7
2.3	Pré-determinação e geração dos impactos ambientais e custos económicos durante o ciclo-de-vida [Reb02 , SHS05]	8
2.4	Optimização do ciclo-de-vida	12
2.5	Métodos de investigação em Ecodesign [Ade01]	16
2.6	Fases de um LCA [dQ06]	18
2.7	Matriz de comparação entre soluções CAD-LCA	29
2.8	SolidWorks Sustainability	30
2.9	SolidWorks Sustainability - selecção de materiais alternativos	31
2.10	ecologiCAD - interface gráfica [Lei]	32
2.11	Fabes-Ecoinnova - macro de cálculo [CTGV09]	33
2.12	Fabes-Ecoinnova - protótipo da integração no SolidWorks [CTGV09]	34
2.13	Sustainable Minds - comparação entre diferentes conceitos [SM]	35
2.14	Sustainable Minds - importação da liste de materiais (BOM) [SM]	36
2.15	Sustainable Minds - árvore do produto [SM]	36
3.1	Arquitectura da ferramenta proposta pelo cliente [PRR09]	39
3.2	Requisitos funcionais	41
4.1	Arquitectura simplificada da solução implementada	48
4.2	SolidWorks com add-in aberto	49
4.3	Seleção de materiais (à esquerda) e processos (à direita)	50
4.4	Seleção de componentes	51
4.5	Ferramenta de cálculo de comprimentos	52
4.6	Ferramenta de quantificação de material desperdiçado	53
4.7	Exemplo de Property Manager Page - Desenho de círculos	54
4.8	Interface gráfica do add-in	56
4.9	Arquitectura da Aplicação Central	57
4.10	Interface da Aplicação Central - Tab de materiais	58
4.11	Interface da Aplicação Central - Tab de materiais: Edição	59
4.12	Interface da Aplicação Central - Tab de processos	59
4.13	Interface da Aplicação Central - Tab de processos: Edição	60
4.14	Base de dados LCA	61
4.15	Base de dados de projecto	62
4.16	Arquitectura lógica do add-in CAD	63
4.17	Exemplo de árvore de um modelo do SolidWorks	64
4.18	Ordem pela que os nós são visitados no tree-traversal em profundidade	64

LISTA DE FIGURAS

4.19	Processo de desenvolvimento incremental	69
4.20	Prototipagem evolutiva [McC96]	69
5.1	Painel de informações de auto-estrada	71
5.2	Modelo CAD do Painel de informações de auto-estrada	72
5.3	Black Box - Ventilador da porta do painel de informações	72
C.1	Interface do add-in com legenda	93
C.2	Interface da Aplicação Central com legenda - Materiais	96
C.3	Interface da Aplicação Central com legenda - Processos	97

Lista de Tabelas

2.1	Normas internacionais ISO e relatórios técnicos para LCA	24
3.1	Requisitos Add-in CAD	43
3.2	Requisitos Aplicação Central	44
4.1	Base de dados LCA	61
4.2	Base de dados de projecto	63
B.1	Nome e valor associado a materiais e processos do caso de estudo	89
B.2	Comparação de dados de LCI manual e realizado com add-in	91
B.3	Reconhecimento das Black Boxes pelo add-in	91
B.4	Comparação de tempos médios de catalogação de componentes	91

LISTA DE TABELAS

Abreviaturas e Símbolos

API	Application Programming Interface Interface de Programação de Aplicativos
BOM	Bill of Material Lista de Materiais
CAD	Computer-Aided Design Desenho Assistido por Computador
LCA	Life Cycle Assessment Análise de Ciclo-de-Vida
LCI	Lyfe Cycle Inventory Inventário de Ciclo-de-Vida
XML	eXtensible Markup Language

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto

O Desenvolvimento de Produto (*Product Design*) é um processo essencial para as empresas, uma vez que as suas vantagens competitivas estão directamente relacionadas com a capacidade de introduzir no mercado produtos inovadores e atractivos que vão ao encontro das expectativas e necessidades dos consumidores. Na verdade, o aumento da concorrência e as rápidas mudanças tecnológicas obrigam as empresas a uma maior produtividade e agilidade para proporcionar uma resposta rápida às alterações e necessidades do mercado, tendo resultado numa generalização massiva da aplicação de ferramentas informáticas ao longo das últimas décadas. Nos processos de trabalho em projectos de Desenvolvimento de Produto, tanto nas áreas de Design como em áreas de Projecto de Engenharia, utilizam-se sobretudo ferramentas de modelação assistida por computador (ou Computer-Aided Design, CAD), que permitem aumentar a capacidade de resposta em prazos mais curtos, reduzir custos, e efectuar simulações e análises mais detalhadas do produto com vista à efectiva detecção e correcção de erros de concepção ainda na fase de desenvolvimento, adicionando valor ao produto [Bla91].

Qualidade, preço e entrega atempada são factores que têm sido o foco da indústria para obter sucesso e satisfazer os clientes. Nos anos noventa do século passado, começaram a emergir outros requisitos, sobretudo por parte de organizações governamentais e pela sociedade civil, relacionados com a utilização racional dos recursos naturais, o bem estar e saúde das populações e a preservação e protecção ambiental, entretanto concretizados em alguma legislação nos países desenvolvidos e que tem vindo a intensificar a actividade científica em torno destes aspectos, com vista à integração destas novas tendências no Desenvolvimento de Produto [Bok06, IY09].

Em resposta às pressões legais e sociais, cada vez mais empresas assumem responsabilidades de desenvolver produtos ambientalmente mais eficientes, minimizando os seus efeitos sobre o meio ambiente, apostando em novas oportunidades de inovação, no aumento da qualidade dos seus produtos, na exploração de novos nichos de mercado e indo ao encontro das exigências dos clientes

[vHC02]. Todavia, a integração destas novas características nos seus produtos representa um novo desafio para estas empresas, por obrigarem a desenvolver novas metodologias de análise dos seus produtos que permitam a caracterização do seu desempenho ambiental. Estas novas metodologias deverão ser sobretudo integradas no processo de Desenvolvimento de Produto, uma vez que é nesta fase que são tomadas decisões relativas a matérias-primas, processos de fabrico ou sistemas de accionamento e controlo, que vão determinar o impacto ambiental do produto em todo o seu ciclo-de-vida [PRR09]. Este processo que equaciona, logo nas primeiras fases de concepção do produto, aspectos relacionados com todo o seu ciclo-de-vida (desde a extracção de matéria-prima até ao fim-de-vida do produto, passando pela, produção, transporte e utilização), e que avalia o impacto ambiental de cada fase, garantindo a sua funcionalidade e viabilidade comercial, é denominado por EcoDesign [LLL03]. Assim, o objectivo do EcoDesign é alcançar um equilíbrio entre estes factores, optimizando o desempenho ambiental e, simultaneamente, melhorando a qualidade dos produtos e a sua eficiência global, para que, considerando as implicações ambientais, sociais e económicas de cada passo do processo, se contribua significativamente para um desenvolvimento sustentável [Mas03].

A integração do Ecodesign nos processos de Desenvolvimento de Produto envolve a aplicação de métodos e ferramentas de avaliação de impacto ambiental, sendo a Análise de Ciclo-de-Vida (ou Life-Cycle Assessment, LCA) a ferramenta mais efectiva para estes propósitos e a que permite uma análise mais avançada [PBF07]. O LCA permite estimar os impactos ambientais cumulativos resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto, muitas vezes incluindo impactos não considerados em análises mais tradicionais (por exemplo, a extracção de matérias-primas, transporte, fim de vida produto), oferecendo uma visão abrangente dos aspectos ambientais e uma imagem mais precisa das verdadeiras contrapartidas da selecção de um determinado produto ou processo para o ambiente [Cur06]. Apesar das conhecidas potencialidades do LCA, existem ainda muitas empresas que não a usam, em especial empresas de pequena e média dimensão [vHC02], pois a sua plena utilização requer um grande esforço para recolher e catalogar a extensa quantidade de dados necessários para realizar a análise, operação que consome bastante tempo e que tende a ser incompatível com a necessidade que as empresas enfrentam de introduzir rapidamente novos produtos no mercado, para além dos custos significativos envolvidos [PBF07].

1.2 Motivação e Objectivos

O presente projecto tem como objectivo a criação de uma plataforma para suporte ao Desenvolvimento do Produto que integra ferramentas CAD, nomeadamente o CAD mecânico Solid-Works (ver 4.3.1), com metodologias LCA, de forma a, aproveitando a utilização massiva de CAD na indústria, agilizar a forma como o LCA é realizado.

Os modelos tridimensionais modelados nos software de CAD contêm muita informação que é importante para a compilação do inventário a utilizar pelas ferramentas de LCA [PRRO10]. Assim, pretende-se extrair automaticamente toda a informação útil presente no modelo, e criar uma interface com o projectista, que permita que dados adicionais possam facilmente ser introduzidos

em paralelo com a modelação. Todos estes dados serão tratados de forma a serem armazenados em conformidade com a ferramenta que realiza o LCA.

Esta integração deverá sobretudo permitir o aumento da automatização do processo e a redução significativa do esforço necessário para realizar o LCA durante a fase de projecto, resultando numa poderosa ferramenta de apoio à decisão do projectista que poderá passar a tomar opções de projecto com base nos reais impactos ambientais das diferentes fases do ciclo-de-vida do produto.

1.3 Enquadramento

Esta Dissertação foi realizada no contexto do Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Foi realizada no INEGI - Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Universidade do Porto, enquadrada no projecto *Green Bender*.

O INEGI é uma Instituição de interface entre a Universidade e a Indústria vocacionada para a realização de actividade de Inovação e Transferência de Tecnologia orientada para o tecido industrial. O projecto *Green Bender*, visa o *re-design* de uma máquina-ferramenta, uma quinadora da empresa ADIRA, permitindo o desenvolvimento paralelo de ferramentas de apoio à concepção ecológica, como é o caso concreto desta dissertação.

1.4 Estrutura da Dissertação

Para além do capítulo actual, que introduz este projecto, o seu contexto e objectivos, esta dissertação contém mais 5 capítulos e um conjunto de anexos que contém o manual de instruções das ferramentas desenvolvidas, bem como outros documentos que complementam a informação presente nestes 5 capítulos.

No capítulo 2, é descrito o âmbito do projecto e revisto o estado da arte relativamente a integração CAD e LCA. No capítulo 3 é feita uma descrição do problema, sendo também apresentados os requisitos bem como o método e recursos utilizados para os identificar. No capítulo 4 é descrita a solução proposta, os detalhes e decisões da sua implementação e as ferramentas e tecnologias utilizadas. Os resultados obtidos e a apreciação da satisfação dos objectivos são apresentados no capítulo 5. Por fim, no capítulo 6, é feito um breve resumo do trabalho realizado e das suas contribuições, sendo também apresentados possíveis melhoramentos futuros.

Introdução

Capítulo 2

Âmbito do Trabalho

2.1 Design Industrial

Design Industrial, define-se como a concepção de objectos para fabrico industrial, isto é, por meio de máquinas, e em série, articulando e coordenando factores relativos à utilização e consumo individual ou social do produto com aspectos técnicos relacionados com a sua produção [Mal99]. O seu objectivo, durante o processo de desenvolvimento do produto e mesmo nos momentos de sua existência que exigem uma revisão de seus conceitos, é harmonizar o objecto e as suas funções e contextualiza-lo no seu uso específico ao bem estar e ao prazer de quem vai usá-lo, procurando, ampliá-lo para além da sua definição apenas funcional, tendo em conta valores estéticos que possam ser aliados aos aspectos de funcionalidade, permitindo seu melhor posicionamento no mercado. O *designer* industrial cria e executa soluções para problemas relacionados com a utilidade e a forma dos produtos industriais, sem perder de vista o mercado.

2.2 Ciclo-de-Vida do Produto

Considerando o produto como uma entidade única, que inclui tanto as dimensões abstractas (necessidade, conceito e *design*) como a dimensão concreta e física (produto acabado), o seu ciclo-de-vida pode ser entendido como tudo o que lhe está relacionado, directa ou indirectamente, “do berço ao túmulo” (do inglês *from cradle to grave*), uma sequência pré-estabelecida de fases evolutivas em que cada fase é necessária para a execução das fases subsequentes, e cada uma fornece uma contribuição diferente para o desenvolvimento do produto final [dQ06, GRR06]. Como mostrado na Figura 2.1, a sequência evolutiva inclui todas as fases desde a concepção e de projecto até à produção e distribuição, considerando também a utilização e fim de vida. O ciclo-de-vida representado por esta sequência é composto por duas partes:

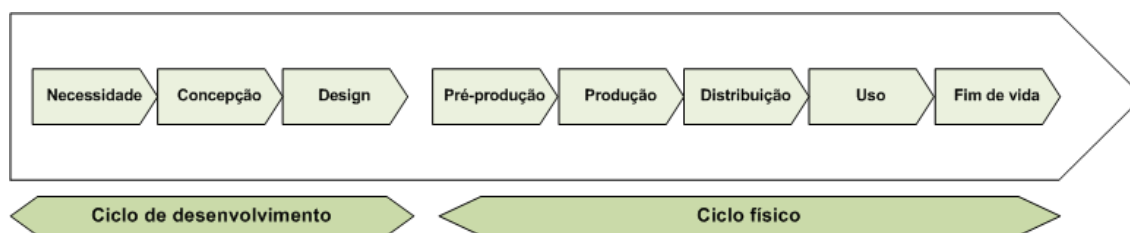


Figura 2.1: Ciclo-de-vida de produto

Ciclo de Desenvolvimento indica a primeira parte do ciclo-de-vida do produto, entendido na sua dimensão abstracta. Esta parte inclui todo o processo convencional de *design* e desenvolvimento de produto, através do qual é criado um conceito de produto que traduza as necessidades encontradas.

Ciclo Físico todas as fases que o produto passa durante sua vida física, desde a extracção e transformação de matérias primas até ao fim de vida. Os processos de transformação de recursos envolvidos neste ciclo podem ser agrupados de acordo com as seguintes fases principais [MSK98]:

Pré-produção onde os materiais e peças são preparados para a produção de componentes;

Produção envolvendo a transformação de materiais, produção de componentes, montagem do produto, e acabamentos;

Distribuição incluindo a embalagem e o transporte do produto final;

Uso do produto para a função pretendida, também incluindo todas as possíveis operações de manutenção;

Fim de vida final da vida útil do produto, que pode consistir de várias opções, desde a reutilização do produto à eliminação de resíduos.

Cada uma destas fases interage com o meio ambiente, uma vez que são alimentadas com dados fluxos de material e energia e produzem não só produtos finais ou intermédios que alimentam a fase sucessiva, mas também emissões e resíduos [GRR06].

Um estudo profundo e uma percepção clara do ciclo físico do ciclo-de-vida de um produto, permite significativas melhorias nos processos de produção e na qualidade final, bem como redução de custos e tempos de produção [MSK98], mas também pode ser utilizado como forma de optimização ambiental de cada etapa.

2.2.1 Impactos Ambientais durante o Ciclo-de-Vida

Do ponto de vista específico de análise ambiental, o produto caracteriza-se por fluxos de recursos transformados através das várias fases que constituem o, acima descrito, ciclo físico. O impacto ambiental de um produto é resultante dos processos do ciclo-de-vida onde existe troca de

substâncias, materiais e energia com o meio ambiente (Figura 2.2). Os efeitos produzidos podem ser resumidos em três tipologias principais [GdHH93]:

Depleção de Recursos O empobrecimento dos recursos provenientes da natureza e usados como entradas do sistema (por exemplo, esgotamento de recursos minerais e reservas de combustíveis fósseis, como resultado de sua extração e transformação);

Poluição Todos os fenómenos de emissão e despejo de resíduos, saídas do sistema para o ambiente (por exemplo, dispersão de materiais tóxicos ou fenómenos causados por emissões térmicas e químicas, tais como acidificação, eutrofização e aquecimento global);

Distúrbios Fenómenos de alteração das estruturas ambientais causadas pela interacção do sistema com o ambiente (por exemplo, a degradação do solo, água e ar).

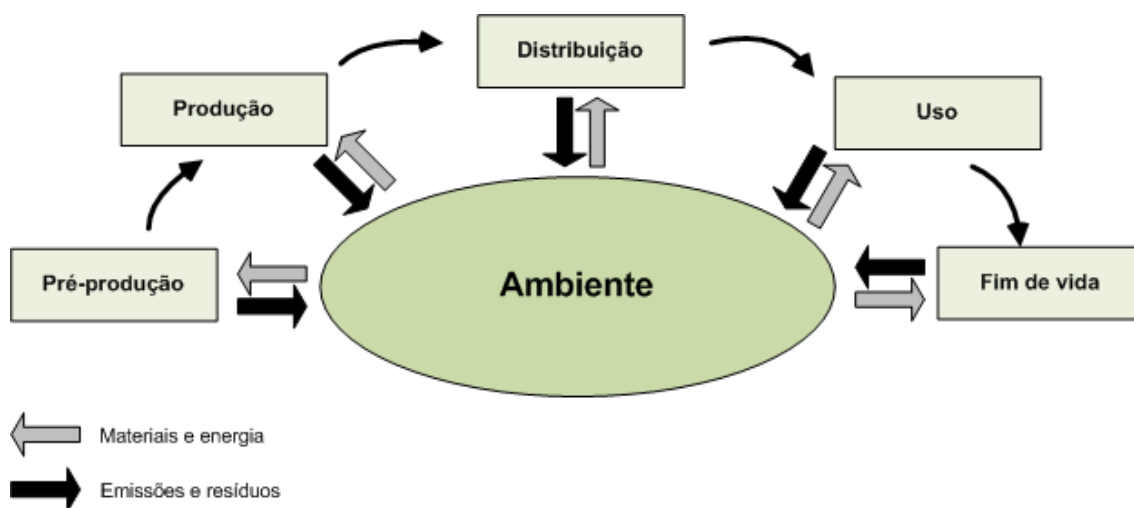


Figura 2.2: Interações com o ambiente durante o ciclo-de-vida [GRR06]

2.2.2 Ciclo de Desenvolvimento

Na actual conjuntura, o desenvolvimento de produtos passa por um momento de constantes desafios e as empresas estão sob constante e crescente pressão para sustentarem as suas vantagens competitivas por via da redução dos custos e tempo de desenvolvimento enquanto mantêm uma elevada qualidade, segurança e funcionalidades que estejam enquadradas com as necessidades dos clientes [ZH04]. A correcta definição de um processo de projecto e desenvolvimento de produto revela-se fundamental, uma vez que garante elevados padrões de qualidade, possibilita a articulação entre equipas, define um planeamento eficaz do projecto, assegura uma gestão que permite a detecção de eventuais áreas problemáticas e a identificação de oportunidades de melhoria.

As decisões tomadas nesta fase influenciam fortemente os impactos ambientais das outras fases. A concepção de um produto predetermina o seu comportamento subsequente (por exemplo, a concepção de um automóvel determina o consumo de combustível e as emissões por quilómetro

na fase de utilização e tem uma grande influência sobre a opções viáveis de reciclagem no fim de vida). A Figura 2.3 ilustra essa interdependência entre a concepção e as outras fases do ciclo-de-vida. Nesse sentido, se o objectivo é a melhoria de produtos e serviços o estudo do ciclo-de-vida deve ser realizado o mais cedo possível e em paralelo aos procedimentos de *design* [REF⁺04], além de que se torna cada vez mais caro e tecnicamente difícil fazer alterações nas fases mais tardias [BH06, UI192]. Desta forma, o actual desafio dos projectistas de produto é evitar ou minimizar os impactos adversos de todos os produtos no ambiente. Como todos os desafios, este constitui exigências mas também oportunidades. Oportunidades de focar o debate em modelos mais sustentáveis de produção e de consumo [FL05]. Os projectistas e *designers* precisam ser parte integrante deste debate já que é nestas fases que mais de 70% dos custos económicos, sociais e ambientais são determinantemente influenciados, por exemplo em termos de materiais e tecnologias a utilizar, tempo de vida e opções de fim de vida do produto [CT01].

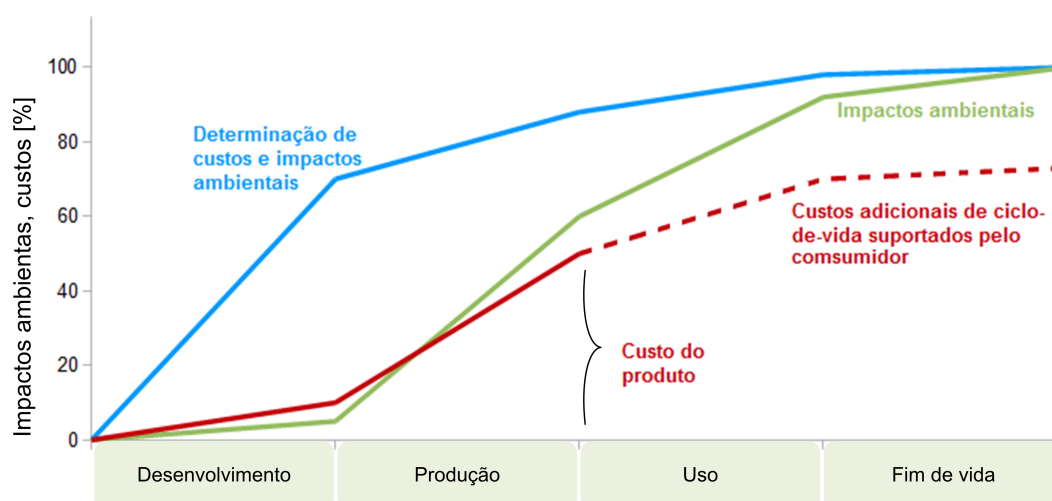


Figura 2.3: Pré-determinação e geração dos impactos ambientais e custos económicos durante o ciclo-de-vida [Reb02, SHS05]

2.2.3 Ciclo Físico

2.2.3.1 Pré-produção

A primeira fase de pré-produção, consiste na produção de materiais e peças semi-acabadas necessárias para o fabrico posterior de componentes. A produção de cada um destes materiais é dividida em duas fases:

Extração e recolha de matérias primas da natureza;

Processamento separação e refinação das matérias primas e subseqüentes transformações físicas e químicas necessária para obter os materiais.

2.2.3.2 Produção

Materiais processados na fase anterior ou materiais reutilizados são usados na fase de produção, onde é possível distinguir três etapas de produção de produtos:

Formação Transformação de materiais, processos de maquinagem, e formação de componentes;

Montagem Montagem dos diversos componentes do produto;

Acabamento Processos finais de acabamentos e pintura do produto.

2.2.3.3 Distribuição

Estando o produto fabricado, deve ser distribuído para ser comercializado. A fase de distribuição implica embalagem e transporte. Os recursos necessários para esta fase são, principalmente, uma embalagem que vai garantir que o produto chega ao utilizador em bom estado e os recursos relacionados com os consumos de transporte. Também, numa visão mais ampla, é possível ter em conta os recursos necessários para a produção dos meios de transporte e das estruturas de armazenamento do produto.

2.2.3.4 Uso

O produto é utilizado por um determinado período de tempo ou, em alguns casos, é consumido. A fase de uso, muitas vezes envolve o consumo de material e recursos energéticos para o seu funcionamento, e produz resíduos e emissões. Além disso, durante esta os produtos podem exigir intervenções de manutenção, reparação ou substituição dos componentes desgastados e modernização de peças obsoletas.

2.2.3.5 Fim de vida

Uma vez utilizado, o produto atinge o seu fim de vida. Dependendo da oportunidade e potencial para recuperar os recursos inicialmente empregues, deverá ser possível:

- Recuperar a funcionalidade original do produto, reutilizando-o todo;
- Reutilizar alguns componentes, quer directamente, quer após terem sido reabilitados;
- Reaproveitar os recursos utilizados por processos de reciclagem de materiais ou de recuperação de energia;
- Eliminar a totalidade ou parte do produto transformando-os em resíduos.

As primeiras três opções alimentam outros ciclos, fornecendo recursos para uso nas fases de pré-produção e produção de novos produtos.

2.3 Desenvolvimento Sustentável

O termo Desenvolvimento Sustentável foi primeiramente introduzido no debate internacional *World Conservation Strategy* [IUW80] em 1980 e estabeleceu-se como um novo paradigma global em 1987 depois da publicação de *Our Common Future* [WCE87], o relatório final da comissão Brundtland. Este relatório define Desenvolvimento Sustentável como:

“Desenvolvimento que procura satisfazer as necessidades da geração actual, sem comprometer a capacidade das gerações vindouras de satisfazerem as suas próprias necessidades” [WCE87].

Definição, que apesar de ser muitas vezes considerada como vaga e sem valor operacional, ilustra a sustentabilidade como um novo modo de ver o Mundo baseado em justiça e partilha de responsabilidades [CT01]. Tendo assim implícito um compromisso de solidariedade com as gerações do futuro, no sentido de assegurar a transmissão do património capaz de satisfazer as suas necessidades, Implicando a integração equilibrada dos sistemas económico, sócio-cultural e ambiental, pressupondo:

- a preservação do equilíbrio global e do valor das reservas naturais,
- a redefinição dos critérios e instrumentos de avaliação de custo-benefício a curto, médio e longo prazos, de forma a reflectirem os efeitos sócio-económicos e os valores reais do consumo e da conservação,
- a distribuição e utilização equitativa dos recursos entre as nações e as regiões a nível global e à escala regional.

A procura por uma sociedade sustentável assenta num processo de optimização multidisciplinar com diversos critérios. A sustentabilidade pode ser compreendida como a coexistência e interrelacionamento das dimensões económica, social, institucional e ambiental das actividades humanas [UNC96]. Estas dimensões tendem a ter um peso cada vez mais proeminente na sociedade, já que os padrões de desenvolvimento e consumo que têm vindo a ser seguidos são inviáveis num Mundo de população em crescimento, sendo necessárias medidas fundamentadas para evitar sérios danos no bem estar humano e dos recursos naturais. Os princípios do Desenvolvimento Sustentável, apesar de uma ainda fraca implementação, já estão estabelecidos e largamente aceites pelos governos mundiais bem como por outros intervenientes. [CT01]

Na Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento realizada em 1992 no Brasil foi produzido um pequeno documento denominado *Declaração do Rio* que reúne 27 princípios para o Desenvolvimento Sustentável. O quarto principio diz que:

“Com o objectivo de se alcançar o desenvolvimento sustentável, a protecção do meio ambiente deve constituir uma parte integrante do processo de desenvolvimento e não pode ser considerada de forma isolada”. [UNC92]

Esta tendência traz novos desafios e oportunidades à indústria, em especial a inserção os conceitos de sustentabilidade no desenvolvimento de novos produtos e serviços.

2.3.1 Ecologia Industrial

Embora as premissas na base do conceito de desenvolvimento sustentável sejam de insubstituível valor ético, evidenciando a obrigação de tomar novas rotas para o desenvolvimento que garantam às gerações futuras os recursos necessários para satisfazer as suas necessidades, não dão indicações claras de como realizar esta tarefa em termos concretos. A introdução do conceito conhecido como Ecologia Industrial pode contribuir para uma melhor compreensão e aplicação da abordagem baseada num sistema necessário para atingir a condição da sustentabilidade [Kor04].

A Ecologia Industrial propõe a aplicação de uma abordagem integrada para gestão dos impactos ambientais relacionados com a utilização de todos os recursos em jogo (energia, materiais e capital económico) em contexto industrial, com os seguintes objectivos:

- Desenvolvimento de estruturas conceptuais para a compreensão e avaliação dos impactos dos sistemas industriais no ambiente e para a implementação de estratégias que visem reduzir os impactos dos produtos e processos;
- Harmonização entre os processos que compõem o ciclo-de-vida de produtos, entre diferentes ciclos-de-vida e o meio ambiente;
- Conversão da estrutura linear de sistemas industriais (materias primas em bruto são normalmente transformadas, utilizadas e tornam-se resíduos) a uma estrutura cíclica (onde os resíduos são utilizados como entrada de outros processos de transformação). [GRR06]

Isto fornece um interessante ponto de partida para o Ecodesign podendo este servir como veículo de procurar meios sustentáveis de satisfazer algumas das necessidades humanas criando produtos e serviços ambientalmente mais eficientes e que tragam também vantagens sociais e económicas.

2.4 Ecodesign

Ecodesign ou *Design-for-the-Environment* (DfE) significa a integração de aspectos ambientais no projecto do produto com o objectivo de melhorar o seu desempenho ambiental durante todo o seu ciclo-de-vida. [Eur09]. A palavra Ecodesign é construída com base nas palavras *Design*, Ecologia e Economia, sendo portanto um conceito que prevê um relacionamento inteligente entre o projecto de produtos, com a natureza e com os mercados [KL06], ou seja, desenvolvimento de produtos e métodos rentáveis e inteligentes, sistemas com soluções efectivas e *design* atractivo [TK06]. Sendo isto realizado embebendo preocupações ambientais no planeamento, projecto e desenvolvimento de produtos o mais prematuramente possível, estando no mesmo patamar que outros critérios clássicos como funcionalidade, rentabilidade, ergonomia, estética, viabilidade tecnológica, etc . [CT01].

Inicialmente foi apresentado como uma abordagem de *design* direccionada à redução de resíduos industriais e à optimização do uso de materiais [OotTA92], posteriormente o Ecodesign

adquiriu uma dimensão mais adequada, que pode ser entendida mais completamente como um processo de projecto que deve ser considerado para a conservação e reutilização dos recursos escassos da Terra, onde os consumos de energia e materiais são otimizados, o mínimo de desperdício é gerado e resíduos de produção de qualquer processo podem ser usados como matérias-primas (entradas) de outros [BB97], visão claramente inspirada nos princípios da ecologia industrial.

O conceito de “redução do impacto ambiental”, diversas vezes referido, não é limitado à simples quantificação e minimização dos impactos directos sobre os ecossistemas. Neste contexto, tem de ser entendido em termos mais amplos, como a optimização do desempenho ambiental, que inclui uma série de aspectos como [BB97, GRR06]:

- Redução de resíduos e desperdícios, permitindo uma utilização mais eficiente de recursos e uma diminuição do volume de lixo;
- Uso correcto de materiais em função do desempenho exigido, da sua recuperação no final da vida útil do produto e da redução de substâncias tóxicas ou poluentes;
- Aumento da eficiência energética nas fases de produção e uso;
- Melhoria do produto, nomeadamente no que respeita ao seu comportamento durante a fase de utilização, para reduzir o consumo de recursos ou a necessidade de recursos adicionais durante o seu funcionamento;
- Criar produtos com ciclos-de vida maiores e que sejam modulares, ou seja, cujas peças possam ser trocadas em caso de defeito, não sendo necessário que todo o produto seja substituído, gerando também menos lixo;
- Propor produtos que possam ser feitos a partir da reutilização ou reaproveitamento de outros ou projectar produtos para sobreviver ao seu ciclo-de-vida, criando ciclos fechados sustentáveis (Figura 2.4).

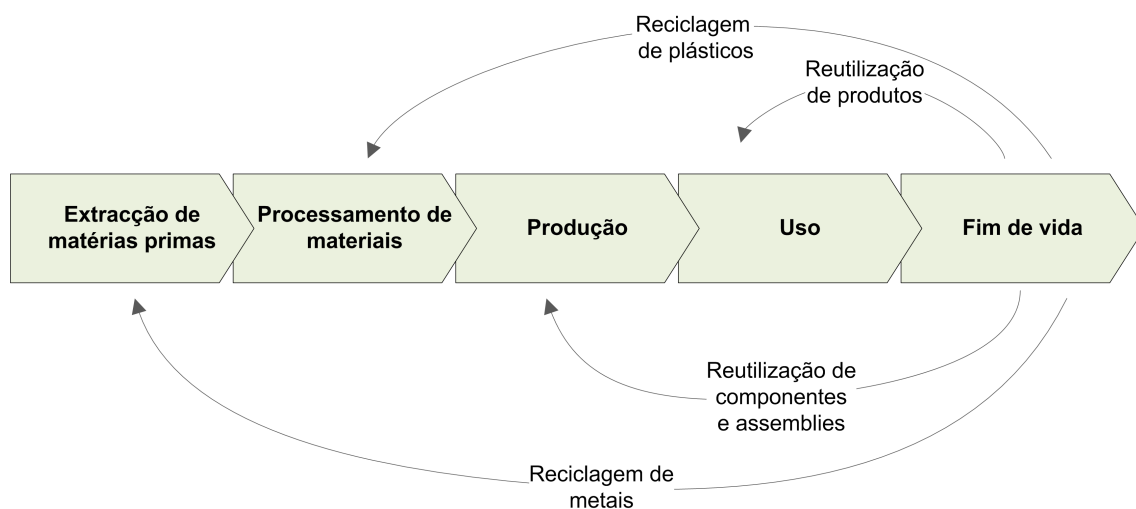


Figura 2.4: Optimização do ciclo-de-vida

Aplicando estas premissas em relação às fases da vida do produto é possível obter informações úteis e explorar um conjunto de oportunidades para uma intervenção eco-eficiente no projecto e desenvolvimento de produtos, com o objectivo ideal de obter produtos fabricados, usados e reformados sem dar origem a significativos impactos sobre o meio ambiente.

2.4.1 História

Em 1972 Victor Papanek, no seu livro *Design for the Real World* [Vic72], argumentou que os *designers* estão numa posição poderosa para influenciar os aspectos ambientais dos produtos que projectam.

Na década de 1980 apareceram algumas leis ambientais e foram criadas algumas revistas técnicas e conferências que começaram a explorar o desenvolvimento de produtos a pensar na reutilização e reciclagem. Esta nova visão de concepção de produto começou a ser implementada principalmente sector electrónico que foi influenciando os fabricantes de outros tipos de produtos. Empresas como *IBM*, *Phillips*, *Apple Computer*, *Sun Microsystems*, *Sony* começaram a projectar produtos com as mesmas tecnologias o que facilitou a desmontagem e reutilização de materiais no final de vida. Projectos evoluíram para incluir o uso de materiais alternativos como solda livre de chumbo, uso eficiente de energia e revestimentos feitos de polímeros biodegradáveis [KE08].

No início dos anos 90, a *Philips Electronics*, o Governo Holandês e a Universidade de Delft desenvolveram em conjunto uma ferramenta informática de análise de ciclo-de-vida, a *IDEMAT*, que fornecia indicadores do impacto de materiais e processos, para ser usada por projectistas especialmente do sector industrial. A *IDEMAT* foi rapidamente seguida por outras ferramentas comerciais, existindo hoje em dia várias opções para realizar análises ambientais [FL05].

Em meados da década de 1990 o livro *Industrial Ecology* [TB95] de Tom Graedel e Brad Allenby descreveu o pensamento de ciclo-de-vida e alguns protótipos de ferramentas que demonstravam como conceitos biológicos poderiam ter valor para a indústria. A matriz de ferramentas actuais construída sobre estes conceitos tornou-se mais diversificada mas continua a manter conceitos fundamentais comuns, todos baseados numa perspectiva de ciclo-de-vida, integrando os aspectos ambientais na primeira fase de desenvolvimento.

Agora vislumbram-se para o futuro melhoramentos profundos nas metodologias de Ecodesign, abrangendo, além do ambiente, preocupações sociais e económicas aproximando-se ainda mais do conceito de sustentabilidade [KE08].

2.4.2 Equipamentos Utilizadores de Energia

Os Equipamentos Utilizadores de Energia (ou Energy using Products, EuPs) são produtos que utilizam, geram, transferem ou medem energia (por exemplo, electricidade, gás, combustíveis fósseis), incluindo bens domésticos, tais como computadores, televisores, máquinas de lavar, lâmpadas e produtos industriais, tais como transformadores, ventiladores industriais, fornos industriais [Eur05]. A utilização destes produtos é massiva e, desta forma, deve-se a estes uma boa parte do consumo de energético a nível global [SHS05].

Neste contexto, em 2005, foi aprovada pela União Europeia uma directiva [Eur05] que obriga os Estados Membros a criar legislação no sentido de os produtores de EuPs usarem metodologias de Ecodesign neste tipo de produtos (ver 2.6.5). Em Outubro de 2009 uma nova directiva [Eur09] alarga a anterior para que também sejam considerados outros equipamentos relacionados com energia (other energy related products, ERPs), produtos que não usam necessariamente energia, mas tem um impacto directo ou indirecto sobre o consumo de energia e podem, portanto, contribuir para a poupança energia, tais como janelas, material de isolamento ou dispositivos de banho (por exemplo, chuveiros, torneiras) [Eur09].

Assim, o nível de consumo energética de produtos que verifiquem os critérios definidos nestas directivas (por exemplo elevado impacto ambiental, volume significativo de comercialização no mercado interno e um claro potencial de melhoria) deve ser minimizado, sendo os seus fabricantes obrigados a [IEE06]:

- Realizar avaliação dos aspectos ambientais dos seus produtos em toda a sua vida;
- Utilizar esta avaliação para procurar soluções alternativas de concepção, com o objectivo de melhorar o desempenho ambiental de seus produtos.

2.4.3 Vantagens

A implementação, por parte das empresas, de metodologias de Ecodesign é cada vez mais essencial quer pelo aumento da consciência ecológica quer pela necessidade de ir ao encontro da legislação cada vez mais apertada. No entanto, a aplicação do Ecodesign pode também traduzir-se em novas oportunidades e vantagens competitivas para as empresas [Bok06].

Avaliar o ciclo-de-vida pode oferecer oportunidades para as empresas analisarem os atributos ambientais dos seus produtos e serviços em parâmetros de produção mais ecológica, tais como o uso eficiente de matérias-primas, prevenção da poluição, a redução de minimização de resíduos, reciclagem interna e reutilização, e também tem uma perspectiva de ciclo-de-vida que segue os produtos desde a aquisição de matérias primas até à disposição final. Realizar uma avaliação ambiental permite, não só, identificar e reduzir os impactos ambientais e consequentes passivos, mas também economizar tempo e dinheiro. As empresas que implementem práticas eco-eficientes serão capazes de responder de forma mais agressiva a pressões competitivas, antecipar as necessidades do cliente, proteger o meio ambiente e melhorar sua imagem e confiança, demonstrando o cuidado e acções responsáveis de sua empresa [MC01].

No ponto de vista dos mercados dos países economicamente mais desenvolvidos, o poder da marca e do marketing está cada vez mais num primeiro plano. O produto é mais e mais uma parte de um estilo de vida. O Ecodesign está ligado a características mais racionais e tangíveis, ainda assim a associação de uma marca a aspectos ecológicos conduz a uma maior visibilidade no mercado, juntando a isso, a necessidade que o Ecodesign revela de repensar os produtos pode promover o aparecimento de novas soluções e pontos de vista inovadores, bem como aumentar a qualidade dos produtos [SHS05], criando vantagens sobre a concorrência e expandindo assim novas oportunidades de mercado [KL06, Mas03].

A aplicação do Ecodesign permite a redução significativa de custos operacionais [KL06], já que esta leva à:

- Minimização da quantidade de materiais utilizados,
- Diminuição do número de processos químicos e de matérias perigosas, o que simplifica a logística interna e reduz os custos de manuseamento e processamento.
- Fabricação de produtos mais pequenos que necessitam de embalagens menores, acarretando menores custos de transporte.
- Utilização de materiais reciclados, o que se revela mais económico.
- Fabricação de produtos mais simples e fáceis de montar, reduzindo os custos de montagem, desmontagem, reparação, reutilização e reciclagem.

2.4.4 Dificuldades

A elevada complexidade do processo de decisão com base em critérios ambientais acarreta, muitas vezes, dificuldades para os *designers* e projectistas [ohspte00]. A juntar a isto a enorme complexidade das ferramentas de análise mais efectivas faz com que a sua utilização consuma muito tempo, além de ser de difícil integração com o processo de modelação aplicada ao Ecodesign e utiliza conceitos e tecnologias que não se adequam aos conhecimentos dos utilizadores [Lof05].

Num inquérito conduzido por Cooper e Fava [CF06] aos utilizadores de LCA (ver 2.5) as causas mais apontadas para esta análise não ser aplicada mais extensivamente foram:

- Esforço significativo na recolha de dados, quer em tempo quer em recursos;
- Elevada complexidade dos métodos;
- Falta de clareza quanto aos benefícios comparados aos custos de conduzir o LCA.

2.5 Ferramentas para o Ecodesign

A identificação de alternativas de concepção que melhor satisfaçam as exigências ambientais requer a utilização de instrumentos capazes de quantificar o desempenho ambiental do produto e orientar o desenvolvimento para a minimização de impactos ambientalmente negativos. essa quantificação sustenta a avaliação qualitativa ou quantitativa desse impacto tornando possível tomar decisões adequadas para contê-lo.

Qualquer que seja o alvo da melhoria ambiental, o Ecodesign é implementado durante a concepção do produto em três fases sucessivas [All94]:

Âmbito consiste na definição do alvo da intervenção (produto, processo ou fluxo de recursos), identificando alternativas possíveis, e determinando a profundidade da análise;

Recolha de dados consiste na aquisição, medição e estruturação de dados ambientais;

Interpretação de dados consiste em transformar os resultados da análise preliminar de dados em ferramentas (que podem ser desde simples orientações e procedimentos de projecto até software mais sofisticados de assistência à equipa de projecto)

Na prática, a segunda e terceira fases são implementadas utilizando ferramentas de análise de ciclo-de-vida que podem ser de três tipologias:

- Ferramentas que permitem uma análise ambiental completa do produto, fornecendo uma avaliação do desempenho em relação à totalidade do ciclo-de-vida (*LCA - Life Cycle Assessment* completo);
- Ferramentas que permitem uma avaliação ambiental alargada do produto com base em informações qualitativas e quantitativas limitadas (métodos simplificados de LCA);
- Ferramentas de avaliação do desempenho ambiental do produto em relação a aspectos específicos, usando métricas e indicadores apropriados (*DfX*).



Figura 2.5: Métodos de investigação em Ecodesign [Ade01]

Estas ferramentas são acompanhadas por uma vasta série de sugestões e directrizes de apoio à equipa de projecto [All94, GRR06, BB97, OotTA92].

Como ficará claro mais à frente, enquanto o primeiro tipo de ferramentas são, em geral, quantitativas, o segundo e terceiro tipo podem ser diferenciados em instrumentos quantitativos e qualitativos. As ferramentas quantitativas usam uma quantidade maior de dados, que são estruturados por forma a permitir o cálculo de funções de medição de desempenho ambiental. As avaliações são, portanto, mais objectivas e verificáveis, mas exigem informações mais detalhadas. Por outro lado, os instrumentos qualitativos são baseados em observações e avaliações subjectivas. Estes são, portanto, mais fáceis de implementar, porque requerem uma quantidade limitada de dados, mas os resultados não são inequívocos nem facilmente comprovados, possuindo um elevado nível de incerteza.

2.5.1 Análise de Ciclo-de-Vida

Os primeiros métodos formais para Análise de Ciclo-de-Vida (*Life Cycle Assessment - LCA*) surgiram de uma série de reuniões organizadas pela Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química

(SETAC) no início da década de 1990, em especial um *workshop* realizado em Portugal em Abril de 1993 onde foram pela primeira vez definidas linhas orientadoras de como realizar um LCA [Con94]. O reconhecimento da validade e utilidade destas metodologias levaram em 1997, à criação de um conjunto de normas para a realização de LCA, emitidas pelo *International Standards Organization* (ISO 14040 e suas subsecções 14.041, 14.042, e 14.043) [Ash09]. A metodologia descrita nesta norma baseia-se numa abordagem sistemática e faseada, e inclui quatro etapas, nomeadamente [dQ06]:

Definição do Objectivo e Âmbito Define e descreve o produto, estabelece o contexto em que a avaliação é realizada e identifica as fronteiras limites do sistema do produto.

Inventário de Ciclo-de-Vida (LCI) identifica e quantifica a energia, o uso da água e de materiais, assim como as emissões ambientais (por exemplo, emissões para o ar, deposição de resíduos, descargas de efluentes, etc.). O objectivo do LCI é fornecer dados objectivos que só mais tarde poderão ser elaborados e interpretados para obter avaliações úteis para a toma de decisões. As principais etapas de análise de inventário são:

- **Modelação do sistema de produto:** Consiste em desenvolver um modelo esquemático detalhado para representar o sistema de operações aplicadas ao produto ou processo em questão. O grau de detalhe é definido cada caso, com base nos objectivos do LCA, de acordo com o grau de complexidade e dificuldade das medições que podem ser feitas nos componentes do sistema.
- **Recolha de dados:** Baseia-se na descrição quantitativa e qualitativa de fluxos envolvidos no processo e as suas funções. Os dados em questão são classificados como “dados primários”, quando adquiridos através de medição directa, ou “dados secundários”, dados derivados, geralmente obtidos a partir de literatura.
- **Processo de alocação:** Os procedimentos de alocação permitem que emissões energéticas e ambientais sejam associadas aos vários co-produtos e subprodutos de processos individuais. Através destas associações é possível realizar estudos de sistemas complexos, utilizando os índices de energia e do ambiente para resumir o seu comportamento.

Avaliação de impacto ambiental avalia os potenciais efeitos humanos e ecológicos da utilização de recursos energéticos, de água e matérias-primas e, as emissões ambientais identificadas na análise de inventário. Como resultado é obtida informação clara sobre a influência do produto e dos seus processos de ciclo-de-vida, no impacto ambiental. Esta etapa prevê a realização de três passos com vista à obtenção de um indicador agregado de impacto ambiental. Estes passos são designados por Caracterização, Normalização e Ponderação.

Interpretação avalia os resultados da análise de inventário e avaliação de impacto. Analisa resultados, delinea conclusões, identifica limitações e proporciona recomendações baseadas nos resultados das fases anteriores da LCA. Esta fase tem como objectivo ainda a transmitir

os resultados da avaliação de impacto ambiental de uma forma clara e transparente, em concordância com o objectivo e âmbito do estudo. Esta etapa compreende ainda uma análise de sensibilidade, que visa estimar os efeitos das escolhas efectuadas, dos métodos e dados, nos resultados calculados do impacto ambiental

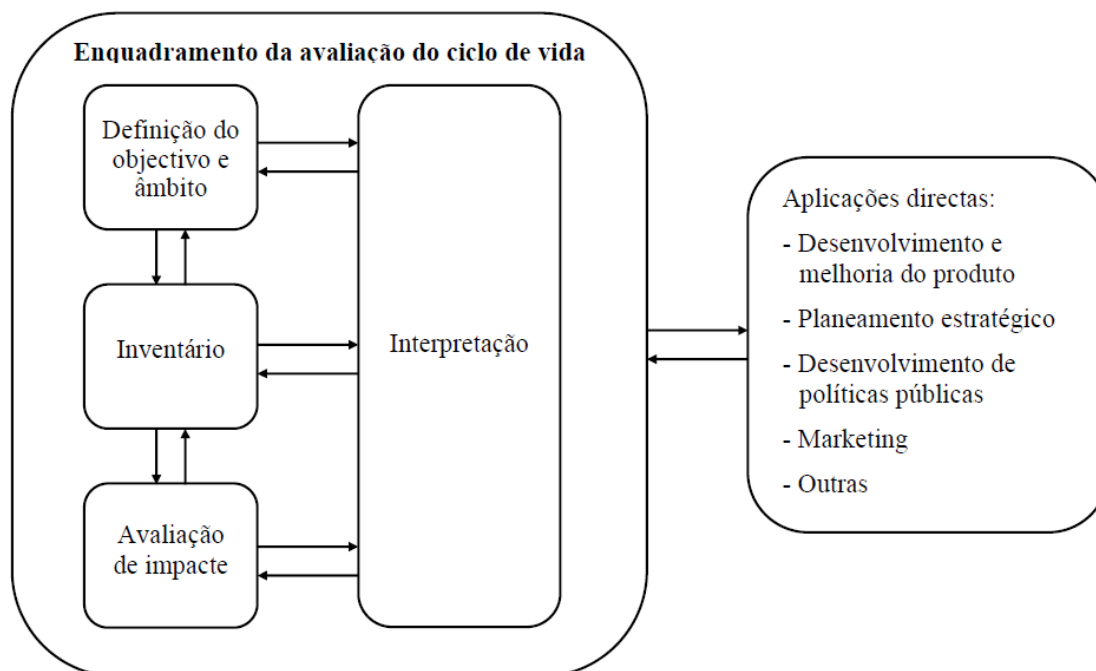


Figura 2.6: Fases de um LCA [dQ06]

É evidente que um uso eficaz do LCA como método de decisão exige uma elaboração dos resultados a partir da fase de inventário, que fornecem indicadores concisos permitindo que até os *designers*, para quem os dados do inventário em bruto seriam em grande parte incompreensíveis, possam fazer uma clara avaliação global, no entanto é um processo moroso e caro [ohspte00].

2.5.2 Métodos Simplificados de LCA

A emergente legislação impõe à indústria exigências e responsabilidades ecológicas cada vez maiores. A Directiva 2005/32/CE da União Europeia, por exemplo, exige que os fabricantes de equipamentos que consomem energia devem demonstrar “que eles têm considerado o uso de energia nos seus produtos no que se refere aos materiais, fabrico, embalagem, transporte, utilização e fim de a vida” [Eur09]. Isto é uma exigência que obrigaria a que um LCA completo fosse realizado a cada um dos produtos de um fabricante. Como na globalidade os fabricantes têm milhares de produtos, o gasto em termos de tempo e dinheiro seria proibitivo.

A complexidade de um LCA tense a ser impraticável [Ash09]. Esta percepção tem estimulado uma linha de desenvolvimento: a simplificação ou agilização, métodos de avaliação que incidem

sobre parâmetros mais significativos, negligenciando aqueles percebidos como secundários. Podendo assim responder às necessidades precisas de *designers* fornecendo-lhes uma rápida (mas não detalhada) avaliação do impacto do produto no início das fases do projecto. Esta abordagem destina-se a superar as principais desvantagens de um LCA completo, que são:

- A complexidade e a extensão do processo de análise e avaliação contrastando com a necessidade cada vez mais premente de reduzir o tempo de colocação do produto no mercado;
- A necessidade do uso de uma quantidade considerável de dados, muitos deles geralmente não disponíveis na primeira fase de desenvolvimento do projecto, exigindo a intervenção de peritos para a sua aquisição;
- A dificuldade na interpretação dos resultados, geralmente constituídos por uma ampla série de dados heterogêneos que são em grande parte incompreensíveis para *designers* e membros da equipa de desenvolvimento do produto.

Das diferentes fases do LCA, o objecto principal de simplificação é normalmente a fase de inventário, ou seja, a mais cara e demorada, e que apresenta o maior potencial de racionalização. A partir desta perspectiva, os métodos simplificados limitam a análise eliminando fases do ciclo-de-vida ou reduzem os parâmetros exigidos na descrição das actividades. Isto pode ser conseguido através da limitação dos objectivos e âmbito da análise e pela simplificação dos modelos e procedimentos utilizados em ambos os inventários de análise e de avaliação de impacto. Alternativamente, novamente a fim de facilitar a fase de recolha de informações, é possível utilizar dados qualitativos em vez de quantitativos [TC99]. Alguns desses métodos são descritos no Anexo B.

No entanto, convém notar que, apesar do interesse crescente do uso destas técnicas a simplificação pode afectar a validade dos resultados obtidos, o que foi demonstrado por estudos que compararam os resultados com os de um LCA completo [HBWS98]. Além disso os métodos simplificados não são compatíveis com a norma ISO 1404X, dificultando as comparações públicas de produtos e actividades de marketing, o que beneficia quem aplica a metodologias completa LCA. Na verdade, estes métodos tendem a ser muito universais e abrangentes, dada à sua ampla aplicabilidade e à emergência da sua utilização [PRRO10]. Por estas razões, e apesar do advento de metodologias simplificadas, muitos utilizadores continuam a dar preferência à utilização de ferramentas completa LCA compatível com a norma ISO [CF06].

2.5.3 Design for X

O *Design for X* (DfX) representa um conjunto de ideias orientadoras para desenvolvimento do produto, normalmente focadas em objectivo específico. O “X” é substituído pela área de foco, que pode ser a reciclagem (*Design for Recycling*, DfR), desmontagem (*Design for Disassembly*, DfD), minimização de componentes (*Design for Minimum Parts*, DfMP, etc [VM08]. Cada sub-tópico pode ser entendido como um conjunto de abordagens e de ideias que podem ser utilizados para alcançar o objectivo declarado.

2.5.4 Métricas

Os resultados do LCA maioritariamente não são lineares e nem sempre fáceis de entender, no entanto é muitas vezes necessário que sejam interpretados por não especialistas como, por exemplo, *designers*. Existem métricas usadas para a representação dos resultados do LCA mais simples de perceber e analisar.

Uma dessas métricas é o *Eco-indicator 95* (desenvolvida pela *Pré Consultants* para o governo Holandês) uma ponderação do LCA especialmente desenvolvida para apoio à concepção de produto e utilizada largamente por *designers* no entanto, foi alvo de várias críticas, em especial dos especialistas em LCA, por não levar em conta alguns aspectos ambientais [ohspte00, KE08]. Surgiu mais tarde uma nova versão, o *Eco-indicator 99* que dá ênfase à comparação das medidas de impacto dos materiais e dos processos, considerando três tipos de danos:

Saúde Humana Nesta categoria são incluídos o número e a duração das doenças, e anos de vida perdidos por morte prematura por causas ambientais. Os efeitos que incluem são: mudança climática, destruição da camada de ozono, efeitos cancerígenos, efeitos respiratórios e ionizantes da radiação.

Qualidade do Ecossistema Nesta categoria são incluídos efeitos sobre a diversidade de espécies, especialmente para as plantas vasculares e organismos inferiores. Os efeitos que incluem são: ecotoxicidade, acidificação e eutrofização.

Recursos Nesta categoria são incluídos o excedente de energia necessário no futuro para extrair mineral de baixa qualidade e de recursos fósseis. O esgotamento dos recursos agrícolas e a granel como areia e cascalho.

A metodologia *Eco-indicator 99* está de acordo com a norma ISO 14042 com a excepção de alguns detalhes e é, actualmente, o método de cálculo mais utilizado [ohspte00].

2.5.5 Software

Na maioria dos casos, os software de LCA referem-se às estruturas metodológicas e instrumentos de apoio ao LCA, e são direccionadas a facilitar a aplicação de técnicas de LCA em *design*, produção e contextos de gestão. As várias ferramentas disponíveis comercialmente diferem em termos de:

- Método de cálculo utilizado para traduzir os dados de inventário em efeitos e estes em danos ambientais;
- O detalhe da análise do ciclo-de-vida (Por exemplo, alguns instrumentos vão ao ponto de considerar a energia utilizada na extracção de matérias-primas);
- As propriedades das bases de dados, a sua extensão e a qualidade das informações que contém.

Âmbito do Trabalho

Em relação a este último aspecto, a dificuldade em elaborar uma base de dados com todas as informações necessárias tem levado as empresas de software a fornecer bases de dados que podem ser melhoradas e personalizadas de acordo com as necessidades específicas do utilizador [GRR06].

Estas ferramentas, que podem envolver um investimento financeiro considerável, são, de facto, úteis para as equipas de concepção de produtos consultarem tabelas e gráficos comparativos para auxiliar na tomada de decisão [KE08].

Estão disponíveis vários software de LCA, nomeadamente LCAMANAGER, Ciclope, Eco-it, Eco-edit, EcoScan, EcoLab, SimaPro, Umberto, Team, GaBi, Green-e, CMLCA, Athena Model, PT Iser, LCAiT-CIT Ekologic, Design System, KLC-ECO [CTGV09], sendo os mais utilizados [Cur06]:

SimaPro Criado pela *Pré Consultants* é uma ferramenta profissional de LCA que contém vários métodos de avaliação de impacto e bases de dados de inventário, as quais podem ser editadas e ampliada sem qualquer limitação. Permite comparar e analisar produtos complexos com ciclos de vida complexa.

Lançado em 1990, SimaPro continua a ser o software LCA com maior sucesso no mundo, usado pelas grandes indústrias, consultoras e universidades de mais de 60 países.

O SimaPro segue as recomendações da norma ISO 14040 e de entre as suas funcionalidades destacam-se a análise paramétrica de cenários, análise de pontos fracos, possibilidade de seguir os resultados até a sua origem, vasto leque de opções para filtrar resultados e análise complexa de cenários de reciclagem e tratamento de resíduos. É, ainda disponibilizada uma API que permite controlar o software através de aplicações externas.

Umberto Criado pelo Instituto de Informática do Meio Ambiente (IFEU) em Hamburgo, Alemanha, o Umberto serve para visualizar o material e sistemas de fluxo de energia. Os dados são extraídos de sistemas de informação externa ou recém-modelados e calculados.

GaBi Suportado conjuntamente pela *PE Europe GmbH* e pela *IKP Universidade de Stuttgart*. Diferentes versões estão disponíveis quer para educação, quer para o uso profissional de LCA para avaliar ciclo-de-vida ambiental, custo e perfis sociais de produtos, processos e tecnologias.

Embora os software existentes permitam avaliações ecológicas com um alto nível de detalhe, não têm a capacidade de serem facilmente integrados no desenvolvimento de produtos modernos. Cada avaliação exige uma remodelação manual dos dados do produto e a atribuição manual de conjuntos de dados ecológicos. Muitos princípios básicos das abordagens metodológicas utilizadas nestas ferramentas, bem como muitas discrepâncias na terminologia utilizada impedem, ou pelo menos restringem, a integração digital em infra-estruturas existentes [Lei05].

2.6 Enquadramento Normativo do Trabalho

Nos últimos anos têm sido estipuladas diversas normas e regulamentos no enquadramento das emergentes políticas ecológicas. Estas normas e regulamentos são de três diferentes tipos:

- Normas e directivas para a gestão ambiental de sistemas e processos.
 - ISO 14001:2004 e ISO 14004:2004
- Normas e directivas para a extensão da responsabilidade do produtor para além da componente comercial dos produtos e serviços.
 - Incentivo ao Abate de Veículos em Fim de Vida (Directiva 2000/53/EC – End-of-Life Vehicles).
 - Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (Directiva 2002/96/EC – Waste of Electrical and Electronic Equipment).
- Normas e directivas de promoção da qualidade ambiental de produtos e serviços.
 - Restrição de Substâncias Perigosas (Directiva 2002/95/EC - Restriction of Hazardous Substances - RoHS).
 - Directiva 2005/32/EC - Directiva Ecodesign para Equipamentos Utilizadores de Energia (EuP).
 - Série ISO 1404X – Normas para a realização de uma avaliação LCA (Life Cycle Assessment).
 - ISO 14062 – Relatório técnico de referência para integrar aspectos ambientais no processo de desenvolvimento de produto.

2.6.1 ISO 14001:2004 e ISO 14004:2004

A família ISO 14000 aborda vários aspectos da gestão ambiental. A ISO 14001:2004 estabelece os requisitos para um sistema de gestão ambiental e a ISO 14004:2004 dá orientações gerais.

Um Sistema de Gestão Ambiental que siga os requisitos da ISO 14001:2004 é uma ferramenta de gestão que permite a uma organização de qualquer tipo ou dimensão:

- Identificar e controlar o impacto ambiental das suas actividades;
- Melhorar continuamente o seu desempenho ambiental;
- Implementar uma abordagem sistemática para a definição de objectivos e metas ambientais, sua realização e de demonstração.

2.6.2 Incentivo ao Abate de Veículos em Fim de Vida

Estabelece medidas preventivas para a gestão e tratamento dos resíduos provenientes dos veículos em fim de vida de forma a promover a reutilização e a reciclagem. Impõe restrições à utilização de substâncias perigosas em novos veículos.

2.6.3 Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos

Obriga ao tratamento, valorização e reciclagem de equipamentos eléctricos e electrónicos. Todos os produtos aos quais é aplicável no mercado comunitário, após 13 de Agosto de 2006, devem cumprir os requisitos estabelecidos na REEE. Aplicável a grandes e pequenos electrodomésticos, como por exemplo, equipamentos informáticos, equipamento de iluminação, ferramentas eléctricas e electrónicas, brinquedos e equipamentos de desporto e lazer, aparelhos médicos, instrumentos de controlo e monitorização.

2.6.4 Restrição de Substâncias Perigosas

Restringe o uso de seis materiais perigosos usados em produtos eléctricos e electrónicos. Todos os produtos aos quais é aplicável no mercado comunitário, após 1 de Julho de 2006 devem cumprir os requisitos estabelecidos.

2.6.5 Directiva Ecodesign para Equipamentos Utilizadores de Energia

A directiva estabelece um enquadramento, ao abrigo do qual, os fabricantes de produtos que consomem energia vão ser obrigados, nas fases de concepção, a reduzir o consumo de energia e outros impactos ambientais negativos que ocorrem durante o ciclo-de-vida dos seus produtos.

2.6.6 Série ISO 1404X

A série ISO 14040 inclui todas as principais fases que compreende a execução de um LCA. A tabela 2.1 apresenta uma visão geral das diferentes normas que compõem esta série.

Nome	Título	Conteúdo
ISO 14040:1997	Environmental management: Life Cycle assessment—Principles and framework	Quadro geral, princípios, e os requisitos para a relatórios e realização de estudos LCA.
ISO 14041:1998	Environmental management: Life Cycle assessment—Goal and scope definition and inventory analysis	Requisitos e procedimentos necessários para a elaboração e preparação da definição da meta e alcance de LCA, e para a realização, interpretar uma de análises de inventário.

Âmbito do Trabalho

ISO 14042:2000	Environmental management: Life Cycle assessment—Life cycle impact assessment	Quadro geral para a Avaliação do Impacto do Ciclo-de-vida (LCIA); As principais características e limitações inerentes ao LCIA; Requisitos para a realização da fase LCIA; Relações com outras fases de LCA.
ISO 14043:2000	Environmental management: Life Cycle assessment—Life cycle interpretation	Exigências e recomendações para a realização da fase de interpretação em estudos de LCA ou LCI.
ISO/TR 14047	Environmental management: Life Cycle assessment— Examples of application of ISO 14042	Exemplos para ilustrar a realização de um LCIA segundo a ISO 14042.
ISO/TS 14048: 2002	Environmental management: Life Cycle assessment— Data documentation format	Requisitos e estrutura para documentação de dados, a ser utilizado para um transparente e inequívoco intercâmbio de dados LCA e LCI.
ISO/TR 14049: 2000	Environmental management: Life Cycle assessment— Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis	Exemplos de realização de um LCI como um meio de satisfação de certas disposições da ISO 14041.

Tabela 2.1: Normas internacionais ISO e relatórios técnicos para LCA

2.6.7 ISO 14062

O relatório ISO 14062 descreve os conceitos e práticas correntes relacionadas com a integração de aspectos ambientais em *design* e desenvolvimento de produtos. A norma destina-se a ser utilizada por todos os envolvidos na concepção e desenvolvimento de produtos, independentemente do tipo, tamanho, localização e complexidade da organização e para todos os tipos de produtos novos ou modificado, bem como para os intervenientes que estão directamente envolvidos no processo de concepção de produto e para os responsáveis de tomadas de decisão do processo.

2.7 Desenho Assistido por Computador

A modelação geométrica é um clássico ramo da matemática mas ainda em rápida evolução, que investiga as medidas, propriedades e relações de curvas, superfícies e volumes, e fornece ferramentas matemáticas para descrever essas entidades em formas naturais e artificiais, bem como para a concepção e utilização em aplicações. Modelos geométricos baseados em computador podem, de facto, descrever não só fisicamente objectos, mas até mesmo objectos virtuais inexistente. Tais objectos virtuais desempenham um papel central em inúmeras aplicações, por exemplo, em engenharia através de Desenho Assistido por Computador (ou *Computer-aided Design*, CAD) e *Computer-aided Manufacturing* (CAM), mas também no entretenimento para a produção de animação filmes e jogos de computador [Qua07].

Antigamente, a maioria das empresas tinha os seus serviços de concepção e fabrico sediados no mesmo local. Esse facto facilitava um alto grau de entendimento entre o projectista e a oficina. Neste tipo de ambiente, as insuficiências dos desenhos técnicos, da fabricação, dos procedimentos de medição e das normas afins não eram críticas para o sucesso da produção. Hoje em dia, isso só continua a ser verdade onde tais ambientes produtivos ainda subsistem.

Agora que o *outsourcing* de tarefas produtivas está a tornar-se cada vez mais comum, aquele grau de entendimento mútuo não pode estar sempre presente, obrigando, assim, a que a documentação técnica elaborada tenha que ser mais precisa. Além disso, a tecnologia tem-se aperfeiçoado, em resultado das necessidades crescentes de fabricação de peças mais precisas, mais baixos custos e menor tempo de produção. As novas necessidades requerem mais flexibilidade nas normas que devem disponibilizar uma ampla variedade de ferramentas [Alm]. Sendo exemplo disso o CAD, ou seja, ferramentas de software para projectar modelos geométricos em duas e três dimensões relacionados com diversas áreas de engenharia, arquitectura e *design*. As suas funcionalidades vão muito além da simples criação de formas, os sistemas CAD permitem agregar, criar e manipular informações relativas a materiais, dimensões ou processos e ajudar na criação, análise, modificação e optimização de projectos.

Os sistemas CAD são de extrema importância para o projecto. As vantagens oferecidas no apoio ao projecto podem ser comprovadas em muitas de suas etapas, indo desde uma melhor documentação e apresentação do produto, com melhoria da qualidade dos desenhos, diminuição de tempo e custos e aumento geral de produtividade, até uma melhor gestão do projecto.

Outro importante benefício de CAD é a possibilidade de efectuar simulações, tanto matematicamente como graficamente, do comportamento e forma de vários sistemas de produtos, subsistemas e componentes. No campo de desenvolvimento de produto, há muitas vezes enormes custos associados à experimentação de novos produtos. Cada produto deve passar por pelo menos uma pequena medida de testes físicos - não apenas para assegurar o cumprimento das normas mínimas de segurança, mas também para garantir que irá operar com sucesso no âmbito do conjunto de condições a que se pode esperar que seja exposto. Por exemplo, a asa de um avião deve ser submetida a testes de esforço para garantir que vai manter a sua integridade, mesmo sob o clima

extremo e condições de turbulência antes que seja aprovado para uso. Este teste pode ser ruinosamente demorado e caro. Se uma empresa de aeronáutica tem que fisicamente construir dezenas de asas no decurso do ensaio de um novo projecto, o custo final e escala de tempo pode ser muito superior ao esperado. Felizmente, não há necessidade de testar fisicamente todos esses projectos. Em vez disso, podem ser realizados testes virtuais utilizando desenho assistido por computador, substituindo um túnel de vento para uma aplicação CAD que pode simular as mesmas condições.

Dados empíricos mostram que quase 80% dos custos de um produto derivam de decisões tomadas durante as fases de concepção e produção inicial. Acresce a isso que os custos médios resultantes das ambiguidades existentes nos desenhos técnicos podem atingir cerca de 20% do volume de negócios da produção. Logo, definições incorrectas e ambíguas são factores de elevado risco económico para a indústria [Alm]. Aqui, também a utilização de ferramentas CAD traz enormes vantagens à indústria, já que o enorme rigor e detalhe que podem alcançar permitem uma eficaz redução das ambiguidades que poderiam fazer aumentar significativamente os custos de produção.

Há também que ter em conta que a utilização de CAD por si só não levará directamente à criação de novos conceitos ou de produtos e *designs* inovadores, pois actua apenas como uma ferramenta utilizada no projecto na tarefa de concepção do produto. Haverá sempre a necessidade de talento intuitivo e visão criativa por parte da equipa de concepção [Bla91], no entanto as grandes vantagens que a sua utilização traz num projecto de desenvolvimento de um produto, sendo observadas em diferentes etapas, desde melhorar a documentação do produto, reduzir tempo e custos, permitir a manipulação e reutilização de modelos já criados, permitindo assim um claro aumento da produtividade geral, são de facto factores catalisadores para que o produto produzido tenha, efectivamente, uma qualidade final melhor.

Existe, actualmente no mercado, uma grande variedade de opções que devem ser consideradas ao analisar-se os sistemas CAD, algumas delas caracterizam a funcionalidade do sistema, ou mesmo a sua aplicabilidade integrada com outros sistemas. Considerando o tratamento dos dados, podem ser divididos em nas seguintes categorias [Ker97]:

Sistemas 2D A utilização de sistemas CAD 2D tem como grande vantagem a rápida aprendizagem por parte dos utilizadores, permitindo uma rápida integração na indústria substituindo o desenho técnico manual, além disso permite trocar, corrigir e transformar um desenho, sem que o utilizador seja obrigado a redesenha-lo, revelando-se bastante útil em projectos onde não existe a necessidade de informações volumétricas. No projecto mecânico tem-se utilizado a representação 2D para o desenvolvimento de desenhos de conjunto, pois são mais facilmente alterados. Nessa fase emprega-se grande número de peças normalizadas, que são incluídas no desenho de forma interactiva, o que confere uma grande produtividade a esta actividade. Empresas do sector mecânico de pequeno e médio porte preferem utilizar sistemas 2D, pois além do menor custo de aquisição e formação dos seus funcionários, estes sistemas exigem máquinas menos poderosas.

Sistemas 3D Na década de 90, os sistemas de CAD evoluíram para uma filosofia, baseada na representação de modelos tridimensionais, descreve-se agora alguns dos métodos de representação 3D:

Wireframe A modelação por *wireframe* era o principal método utilizado pelos sistemas CAD no passado, possibilitando ligar linhas entre pontos no espaço 3D, criando modelos espaciais e garantindo a consistência de vistas 2D derivadas e medições associada.

Com o avanço tecnológico e maior capacidade de processamento dos computadores, esses sistemas começaram a ser substituídos pelos baseados nos métodos de modelação sólida. Isto aconteceu devido, em parte, à dificuldade de incorporação dos *wireframe* com software de análise ou produção, já que não possuem nenhum tipo de informação relacionada com as características físicas dos componentes reais.

Sólida CSG (*Constructive Solid Geometry*) Sistemas capazes de realizar a modelação sólida são muito mais poderosos do que os simples modeladores baseados em *wireframe*. Estes programas são usados para construir componentes sólidos, e não simplesmente uma malha de linhas. Utilizando sólidos para modelar os componentes, estes passam a adquirir propriedades físicas como volume, densidade, peso e massa. Assim, o computador pode calcular várias propriedades físicas desses componentes, como centro de gravidade, momento de inércia, etc. Estes cálculos podem ser utilizados em componentes com formas irregulares, onde o cálculo manual se torna extremamente difícil e trabalhoso, além de facilitar o uso do modelo em software de análise.

Sólida Brep (*Boundary Representation*) A modelação Brep é baseada nas técnicas de modelação de superfícies anteriormente existentes. A primeira geração de modeladores Brep representava objectos sólidos apenas por tabelas de faces, arestas e vértices. Assim, somente suportava objectos com faces planas. Superfícies curvas eram modeladas por aproximação linear. A segunda geração de modeladores Brep incluiu objectos primitivos com superfícies analíticas, como cilindros, esferas, cones, etc., permitindo a criação de modelos muito mais complexos. A modelação Brep possui algumas vantagens sobre a CSG, principalmente no que toca à versatilidade na geração de modelos complexos e na velocidade de verificação de relações topológicas. Isto acontece devido a maneira como o Brep regista as informações do modelo, armazenando os parâmetros das arestas de forma explícita.

Sólida Híbrida Os métodos de modelação sólida CSG e Brep são frequentemente combinados para gerar modelos de componentes. Cada um destes métodos possui as suas limitações, podendo, componentes de difícil criação, ser mais facilmente gerados usando uma combinação de ambos os métodos.

Sólida paramétrica Modelação sólida paramétrica é uma tecnologia chave para definir e manipular modelos sólidos por meio de etapas parametrizadas de alto nível. Essas etapas podem ser modificadas pelos utilizadores, instanciando valores para parâmetros específicos e definindo configurações e restrições.

Um sólido paramétrico pode ser definido como um sólido cuja forma actual é uma função de um determinado conjunto de parâmetros e restrições sobre elas. O objectivo da modelação paramétrica de sólidos é representar e manipular em computador a forma tridimensional de objectos sólidos parametrizados.

Antes da existência de modelação paramétrica, os projectistas criavam uma forma em particular, uma vez criada, a sua edição e alteração não era expressamente apoiada. Para conseguir isso, era necessário importar a forma e modificá-la. Em contraste, a modelação paramétrica foca-se nas etapas da criação de uma forma e parametrização desta. Isto permite que uma posterior edição desta forma seja feita simplesmente instanciando-lhe novos valores. Esta flexibilidade pode ser explorada de várias maneiras, e constitui um avanço importante na modelação de sólidos e nas suas aplicações [GJM02].

Foi com a introdução da modelação sólida paramétrica que a alguma resistência que existia em relação à modelação sólida, devido à dificuldade da sua utilização, começou a desaparecer. Os três grandes benefícios desta modelação são a propagação automática de mudanças, a reutilização geométrica e a integração de conhecimentos de *design* e fabrico com geometria [Sha01].

2.8 CAD e Ecodesign

A realização de um LCA obriga, como já anteriormente referido, à compilação de um extenso inventário. Uma parte desta informação já está disponível no processo de *design* (relativa a componentes do produto, peso, materiais, etc) em software CAD. No entanto, software de CAD e LCA geralmente não são interligados, o que significa que, actualmente, muitas informações têm de ser manualmente transferidas de um software para outro [MBL⁺07]. As ferramentas de CAD são amplamente utilizadas no que diz respeito à concepção e desenvolvimento do produto. Nos modelos digitais do produto são armazenadas valiosas informações para a elaboração de um LCI (*Life Cycle Inventory*), especialmente quando estamos a falar de produtos complexos, com milhares de componentes. Seria de esperar uma forte ligação entre sistemas CAD e ferramentas de LCA, que, no entanto, ainda não foi alcançada. Uma pesquisa recente, aponta para a existência de um único software CAD comercial, o Solidworks, que disponibiliza um *add-in* para a realização de uma muito simplificada avaliação ambiental (ver 2.8.1.1) [PRR09]. Apesar da escassez de soluções no mercado existem algumas referências abordam esta questão, deixando antever necessidade do desenvolvimento de soluções que integrem ferramentas CAD e LCA [PRRO10]. Em algumas delas, como Roche et al. [RMB01], Capelli et al. [CDP06], Melk e Anderl [MA07], Inoue et al. [ITI08] e Otto et al. [OKMG03], são propostas apenas metodológicas que utilizam simplificações de LCA. Marosky et al. [MDFA07] estudou a possibilidade da transferência de dados entre software CAD e LCA ser feita usando as funcionalidades de exportação de informação de ambos os software concluindo que deveria ser desenvolvida uma ferramenta para automaticamente

Âmbito do Trabalho

fazer a transferência de informação mas ficando-se apenas por uma breve definição de requisitos sem avançar para uma implementação efectiva, Leibrich [Lei05] desenvolveu um protótipo, disponível para uso gratuito [Lei], que usa a informação de um sistema CAD, sincronizando-a com uma base de dados que guarda informações relevantes sobre o produto (ver 2.8.1.2), Abad-Kelly et al. [AKCC08] propõe a utilização de macros de *Microsoft Excel* para ligar informações de modelos do software CAD SolidWorks com informações previamente extraídas do software de LCA SimaPro e Cebrián-Tarrasón et al. [CTGV09] propõe a aplicar o cálculo do Eco-Indicator 99 ao modelo CAD a partir de uma base de dados ecológicos internacional (ver 2.8.1.3). A proposta de Pereira et al. [PRR09, PRRO10] centra-se na integração de um software CAD e um de LCA (em específico o SolidWorks e SimaPro), desenvolvendo uma aplicação a partir das APIs (*Application Programming Interface*) dos dois software, que permita a realização de um LCA completo. A aplicação proposta, resumidamente, divide-se em dois módulos, um para ser utilizado na *interface* do CAD em paralelo com a modelação e visa a recolha automática de dados das peças do modelo como a árvore do produto, volumes, áreas de superfícies ou comprimentos e a adição, por parte do utilizador, de outros dados de cada peça, tais como materiais, processos de fabrico, dimensões das matérias primas, etc exportando toda esta informação para uma base de dados. E, um outro módulo que permita ver e editar toda a informação recolhida do CAD pelo primeiro módulo, a inserção de novas informações relativas às fases de uso, transporte e fim de vida, e, por fim, após o inventário estar completo, usar as capacidades da API do SimaPro para realizar a análise LCA e mostrar os resultados, estruturados por forma a que a consulta seja fácil e configurável, ao utilizador.

2.8.1 Soluções Existentes

	Implementação	Sustainability	Sustainability X press	EcologiCAD	Fabes-Ecoinnova	Sustainable Minds
LCA completo	✓	X	X	✓	X	✓
Integração na interface do CAD	✓	✓	✓	X	X	X
Ferramentas extra para obtenção de dados	✓	X	X	X	X	X
Múltiplas bases de dados de LCI	✓	X	X	✓	X	X
Utilizável com assemblies	✓	✓	X	✓	✓	✓
Contemplação de custos	✓	X	X	X	X	X
Software CAD	SolidWorks	SolidWorks	SolidWorks	Pro/Engineer	SolidWorks	Optimizado para Autodesk Invent
Software LCA	SimaPro	X	X	X	X	X

Figura 2.7: Matriz de comparação entre soluções CAD-LCA

De seguida apresentam-se algumas soluções disponíveis que, de alguma forma, têm como objectivo proporcionar integrar CAD e LCA, cujas funcionalidades são sucintamente apresentadas

na Figura 2.7 e comparadas com as funcionalidades que se pretendem implementar.

2.8.1.1 SolidWorks Sustainability

O CAD SolidWorks, dispõe de ferramentas que oferecem uma forma rápida e fácil de analisar o impacto ambiental dos projectos modelados no programa [Cora, Corb]. O *add-in* gratuito SustainabilityXpress e, uma versão mais avançada, o SolidWorks Sustainability, cuja utilização é paga, que tem as mesmas funcionalidades do SustainabilityXpress às quais acrescenta a possibilidade de efectuar análises a produtos constituídos por diferentes partes e a introdução de entradas mais precisas relativamente a consumo de energia e transporte.

Estas ferramentas oferecem uma *interface* integrada na janela do SolidWorks (figura 2.8) de modo ao projectista a ter acesso às suas funcionalidades e ver os seus resultados de uma forma simples enquanto faz alterações no modelo do produto. Nesta *interface* é possível definir o material a usar, o processo e local de produção, meio utilizado para transporte e onde o produto será utilizado. Após a introdução destes dados são apresentados gráficos com indicações das emissões de carbono, consumo de energia, efeitos no ar e na água e de que forma cada uma das fases do ciclo-de-vida contribuíram para esses valores. Se depois de feita uma primeira análise, realizarem-

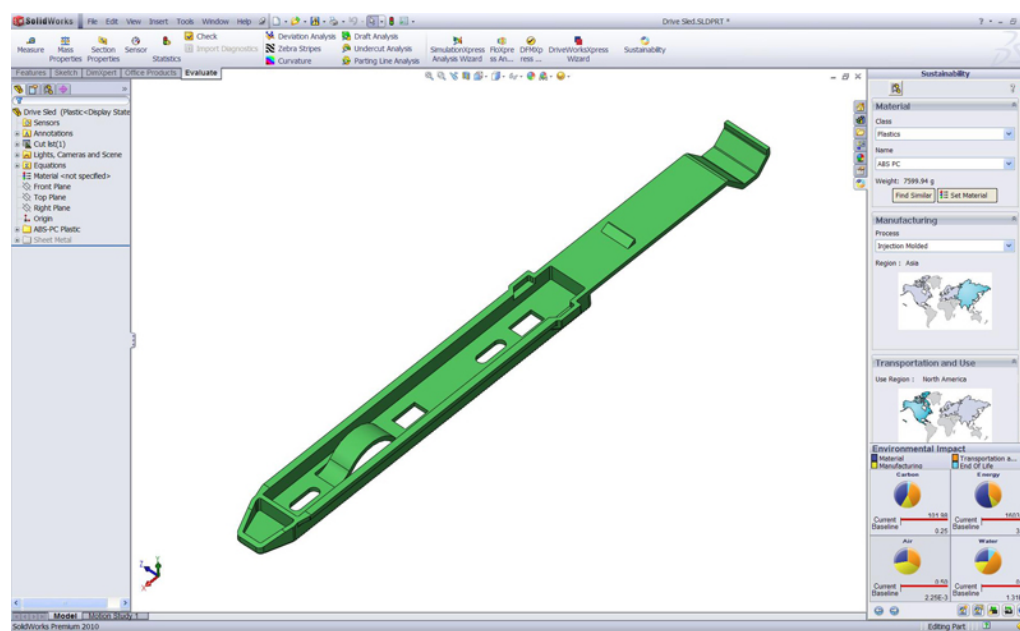


Figura 2.8: SolidWorks Sustainability

se alterações ao modelo são mostrados os impactos do novo modelo e a sua comparação com o modelo anterior. É, ainda, disponibilizada uma ferramenta que sugere materiais semelhantes aos escolhidos mas que potencialmente terão um menor impacto ambiental (Figura 2.9). Por fim, são gerados relatórios da LCA onde são comparados os resultados das diferentes opções de projecto. Estas duas ferramentas permitem aos utilizadores do SolidWorks, de uma forma muito rápida e simples e bem integrada com o software CAD, a condução de uma LCA para os produtos por

si projectados. No entanto a LCA realizada por estes é muito simplificada, desprezando parte significativa do ciclo-de-vida.

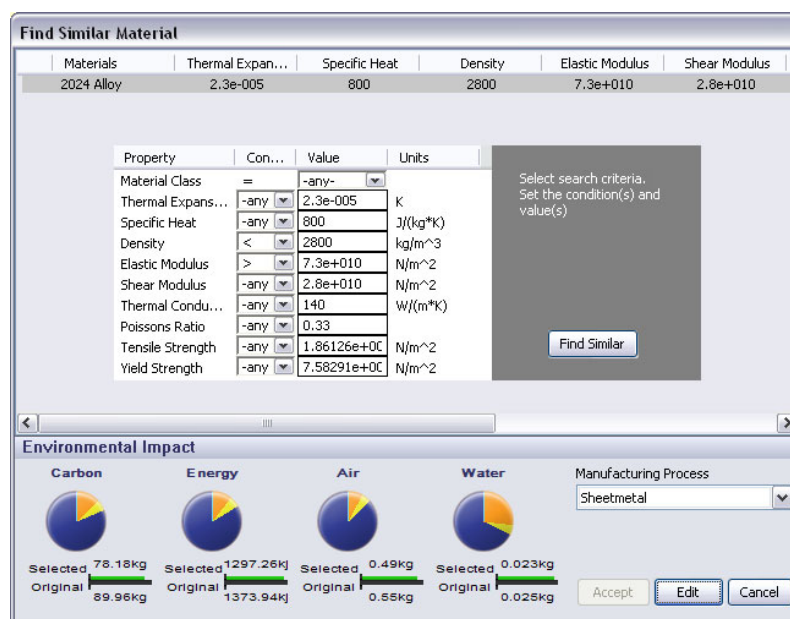


Figura 2.9: SolidWorks Sustainability - selecção de materiais alternativos

2.8.1.2 ecologiCAD

ecologiCAD é um software para avaliação do ciclo-de-vida durante o desenvolvimento do produto, criado por Leibrecht [Lei05], que permite a integração com o CAD Pro/Engineer. Está disponível gratuitamente [Lei].

A sua estrutura é baseada em modelos de produtos como o utilizado em sistemas CAD 3D e disponibiliza as seguintes funcionalidades:

- Modelação de estruturas de produto e os cenários do ciclo-de-vida.
- Navegação a partir de uma árvore de produto.
- Análise do ciclo-de-vida com base em indicadores ecológicos.
- Resultados normalização.
- Organização dos resultados por componentes, as fases do ciclo-de-vida, ou indicadores.
- Fácil de procura de pontos críticos na estrutura do produto.
- Apreciação de vida útil, reutilização e substituição de componentes individuais.
- Criação de gráficos.
- Exportação de resultados.

Âmbito do Trabalho

- Cálculo automático de massas e volumes de componentes pela densidade do material.
- Base de dados extensível.
- Armazenamento dos projectos em diferentes formatos.
- Criação e sincronização de ficheiros de projecto directamente do sistema CAD Pro/Engineer.
- Disponibilização de API.

Como desenvolvimentos futuros estão previstos:

- Integração dos custos de ciclo-de-vida como um indicador adicional, não ecológico.
- Outras interfaces CAD (Catia, Unigraphics, SolidWorks, STEP, etc).
- Integração directa de funcionalidade ecológica completas em interfaces CAD.
- Uma nova extensão da base de dados ecológicos.
- Dados de cenários de reutilização no âmbito de projectos novos.
- Importação / exportação de dados ecológicos.
- Rankings (por exemplo, os componentes ecologicamente menos eficientes, etc.)

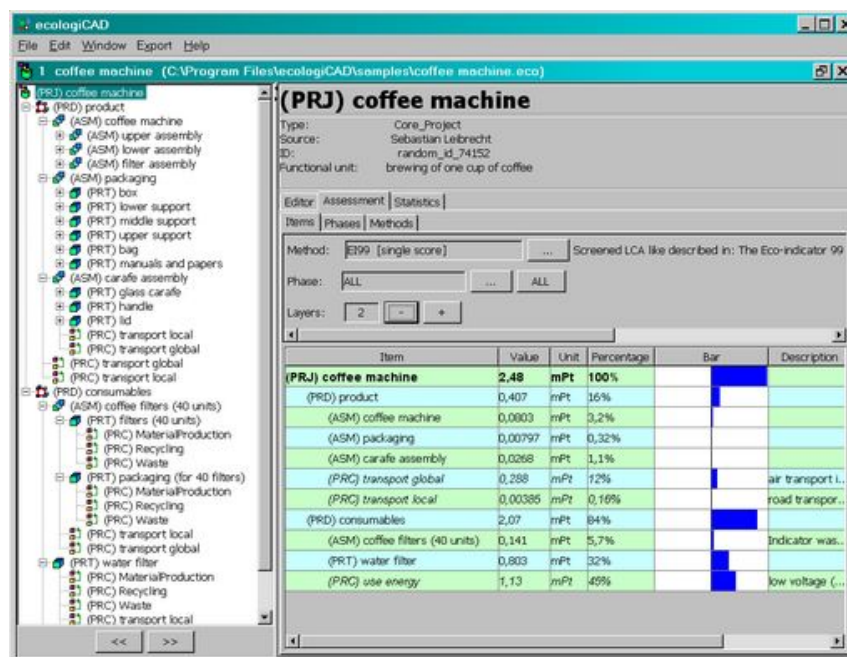
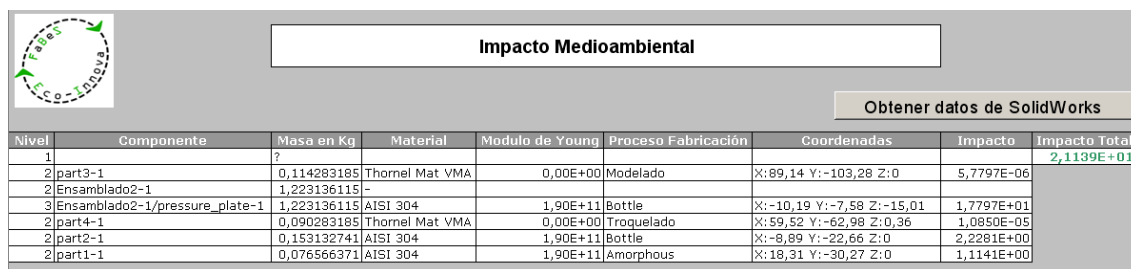


Figura 2.10: ecologiCAD - interface gráfica [Lei]

2.8.1.3 Fabes-Ecoinnova

Este projecto, desenvolvido por Cebrián-Tarrasón et al. [CTGV09], da universidade espanhola *Jaume I*, aplica o Eco-Indicador 99 usando a ELCD, com base nas informações do produto que está a ser modelado num sistema CAD.



The screenshot shows a software interface titled "Impacto Medioambiental". It includes a button "Obtener datos de SolidWorks" and a table with the following data:

Nivel	Componente	Masa en Kg	Material	Modulo de Young	Proceso Fabricación	Coordenadas	Impacto	Impacto Total
1		?						
2	part3-1	0,114283185	Thornel Mat VMA	0,00E+00	Modelado	X: 89,14 Y: -103,28 Z: 0	5,7797E-06	
2	Ensamblado2-1	1,223136115	-					
3	Ensamblado2-1/pressure_plate-1	1,223136115	AISI 304	1,90E+11	Bottle	X: -10,19 Y: -7,58 Z: -15,01	1,7797E+01	
2	part4-1	0,090283185	Thornel Mat VMA	0,00E+00	Troquelado	X: 59,52 Y: -62,98 Z: 0,36	1,0850E-05	
2	part2-1	0,153132741	AISI 304	1,90E+11	Bottle	X: -8,89 Y: -22,66 Z: 0	2,2281E+00	
2	part1-1	0,076566371	AISI 304	1,90E+11	Amorphous	X: 18,31 Y: -30,27 Z: 0	1,1141E+00	
								2,1139E+01

Figura 2.11: Fabes-Ecoinnova - macro de cálculo [CTGV09]

A ELCD (*European Reference Life Cycle Database*) é base de dados criada pela Plataforma Europeia de LCA [Eur] e consiste numa compilação de inventário de ciclo-de-vida e de dados de avaliação de impactos para a realização de LCA. Estes dados providenciados pela indústria e, que são aprovados e revistos.

A partir de um serviço web os utilizadores podem solicitar dados ELCD e recebe-los numa macro de *Microsoft Excel*. Esta macro é iniciada a partir do CAD, associando assim os dados do modelo à informação ELCD, mostrando informações relativas ao processo de fabrico, material e propriedades físicas do produto e, portanto, o valor de impacto ambiental. Toda esta informação pode ser exibida numa interface gráfica (Figura 2.11).

Para ajudar o *designer* a reduzir o impacto ambiental do modelo, existe a possibilidade de construção de simulações. A falha de cálculo tem a capacidade de alterar um por um os materiais ou processos de fabrico do modelo e simular o impacto ambiental com estes novos recursos. Um gráfico é gerada automaticamente gráfico para comparar o impacto ambiental do modelo actual com o simulado.

Uma próxima versão permitirá que o impacto ambiental de um produto seja calculado, sem a necessidade de se usar uma folha de cálculo. O cálculo do impacto ambiental do modelo projectado pode ser solicitado directamente da interface do CAD. Abrindo a macro dentro da janela do CAD, o utilizador é solicitado a escolher uma peça. A API do CAD obtém os dados do material, de massa, processo de fabrico e transporte previamente estabelecidos para cada peça. O serviço web envia estes dados para o servidor que efectua o cálculo do impacto ambiental e retorna o resultado na mesma janela do CAD (Figura 2.12).

Âmbito do Trabalho

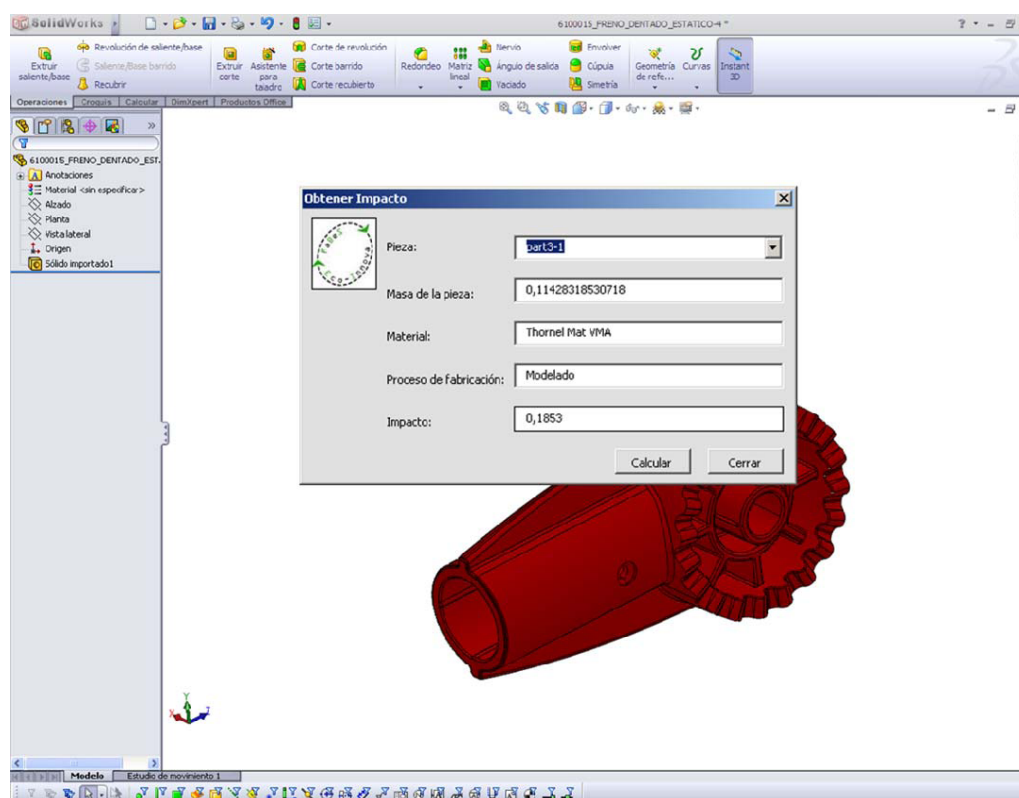


Figura 2.12: Fabes-Ecoinnova - protótipo da integração no SolidWorks [CTGV09]

2.8.1.4 Sustainable Minds

Sustainable Minds [SM], um software de *design* de produtos ecológicos que cuja primeira versão foi lançada em 2009. É software baseado na Web que permite aos utilizadores a aplicar estratégias de concepção ecológica para gerar conceitos inovadores e ecológicos do produto, e utiliza o LCA para avaliar os seus potenciais impactos ambientais e de saúde, disponibilizando métricas quantitativas de desempenho por forma a apoiar as decisões de *design*. É usado para avaliar produtos em todas as fases do projecto conceptual, revelando opções possíveis para explorar, possibilitando a comparação dos resultados de diferente opções (Figura 2.13).

Pode ser usado para avaliar os impactos de produtos já existente ou de novos produto, antes e durante a utilização de ferramentas CAD. O Sustainable Minds interage com qualquer sistema CAD através da importação de lista de materiais (ou *bill of materials*, BOM) (Figura 2.14), sendo no entanto optimizado para importar os dados do Autodesk Invent [Aut]. Depois de realizada a importação é necessário mapear os materiais da lista para os materiais correspondentes na base de dados do Sustainable Minds.

Permite a avaliação de um sistema de produto inteiro, *assemblies*, *subassemblies* e *parts*, em todas as fases do ciclo-de-vida: fabrico (materiais / processos), uso, fim de vida e transporte.

Âmbito do Trabalho

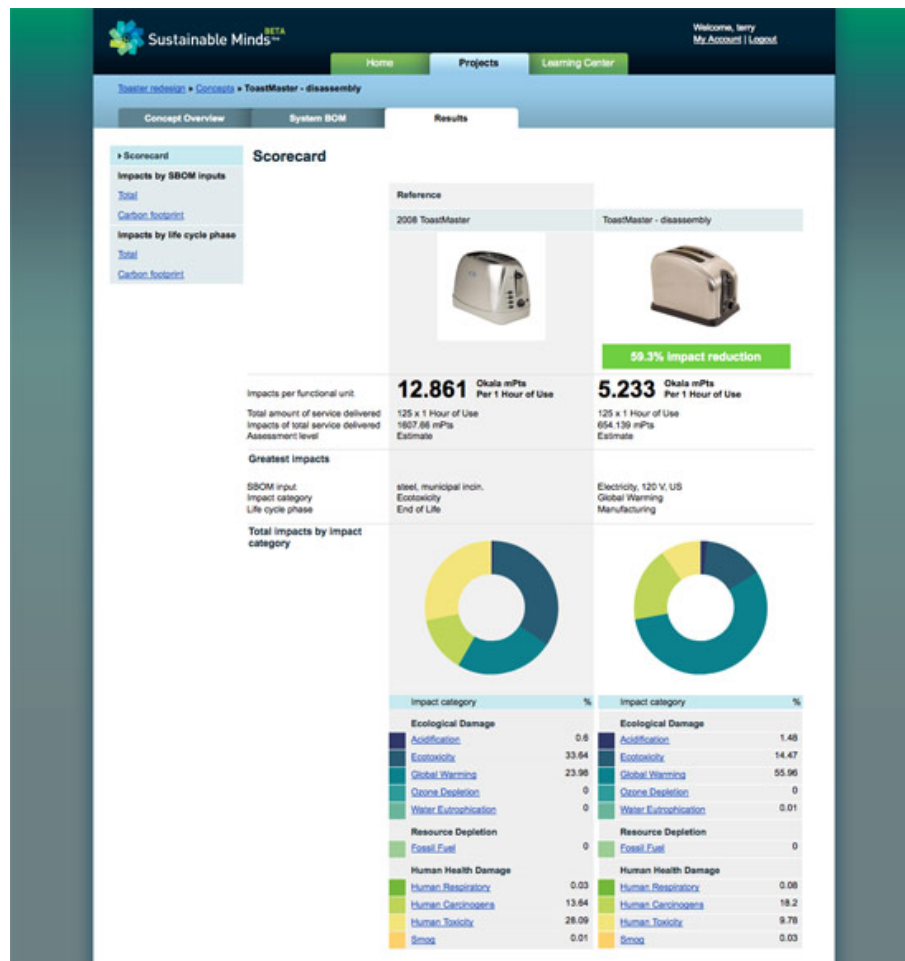


Figura 2.13: Sustainable Minds - comparação entre diferentes conceitos [SM]

O Sustainable Minds utiliza a metodologia Okala, que avalia 10 categorias de impacto ambiental:

- Danos ecológicos: aquecimento global/pegada de carbono, chuva ácida, eco-toxicidade, depelação do ozono, eutrofização da água;
- Perigos para a saúde humana: “smog” fotoquímico, respiração humana, toxicidade humana, efeitos cancerígenos;
- Depelação de recursos: esgotamento dos combustíveis fósseis.

Âmbito do Trabalho

Import BOM

Importing a BOM into this concept is a 3 step process.

- 1) Prepare and upload your BOM.
 - Export the BOM from your CAD software in .TSV (tab separated values) format. (Microsoft Excel calls this a 'Text' format, or '.txt').
 - Download the [Sustainable Minds BOM import template](#).
 - Open both files in a spreadsheet program, such as Microsoft Excel or Open Office.
 - Rearrange your BOM to reflect the import template by adding the header row from the template and removing extraneous information.
 - Save the modified BOM in .Text(Tab delimited)(*.txt). format.
 - Upload the BOM .txt file below.
- 2) Preview the import.

Sustainable Minds will attempt to match material names. Matched materials can be modified before committing to the SBOM.
- 3) Commit the import to the SBOM.

Imported items will be appended to the existing SBOM, and will not replace existing items.

Import downloads

[BOM import template \(.xls\)](#)
[Example BOM \(.xls\)](#)
[Both files \(.zip\)](#)

[Download the User Guide](#)

Feedback
[Report a bug or issue >](#)

Select a file to upload:

format: Text(Tab delimited)(*.txt)
No size limitations

Figura 2.14: Sustainable Minds - importação da liste de materiais (BOM) [SM]

BETA

Welcome, Terry
[My Account](#) | [Logout](#)

[Home](#)
[Projects](#)
[Learning Center](#)

[Toaster redesign](#) > [Concepts](#) > 2008 ToastMaster Reference

[Concept Overview](#)
[System BOM](#)
[Results](#)

[Manufacturing](#)
[Use](#)
[End of Life](#)
[Transportation](#)

[Add a Part](#)
[Add Sub-Assembly](#)
[Import BOM](#)

Name	Material/Process	Qty	Am't	Unit	Okala mPts	CO ₂ eq. lbs	MS	Part ID	
[-] Metal parts		1			296.699	12.865	E		Part S-Assembly + - X
[+] Copper parts		1			106.581	1.287	E		Part S-Assembly + - X
[+] Material	Steel, stainless	1	0.7	lb	50.863	3.931	E		Process + - X
[+] Material	Steel, low-alloyed	1	1.3	lb	139.254	7.648	E		Process + - X
[-] Housing		1			24.438	1.464	E		Part S-Assembly + - X
[+] Material	Polyvinyl chloride (PVC)	1	0.2	lb	11.337	0.47	E		Process + - X
[+] Material	Epoxy resin	1	0.9	lb	13.101	0.994	E		No Processes available + - X
[-] Packaging		1			19.375	2.572	E		Part S-Assembly + - X
[+] Material	Sold unbleached board	1	0.6	lb	13.406	1.788	E		No Processes available + - X
[+] Material	Kraft paper, bleached	1	0.2	lb	5.969	0.784	E		No Processes available + - X
Manufacturing Total					340.513	16.901	E		

Learn more about:
[System BOM](#) >
[Manufacturing Phase](#) >
[Packaging](#) >

Figura 2.15: Sustainable Minds - árvore do produto [SM]

Capítulo 3

Análise do Trabalho

3.1 Visão geral

3.1.1 Identificação de Requisitos

Este projecto, na sua globalidade, tem um cariz muito exploratório e, pelo facto de estar inserido numa área emergente como o Ecodesign, onde com muita regularidade aparecem inovações e novas abordagens, tornou-se impossível definir um conjunto estável de requisitos na fase inicial do projecto. Desta forma os modelos convencionais de desenvolvimento, como o modelo em cascata, seriam de difícil aplicação, pois o provável aparecimento de novos dados e consequentemente novos requisitos obrigaria a uma redefinição da arquitectura e implementação. Assim foi seguido um método incremental, explicitado mais à frente neste documento (ver 4.4), que permita um contacto próximo com o cliente e futuros utilizadores durante todo o desenvolvimento facilitando a identificação e documentação de novos requisitos e a validação de requisitos já implementados.

Durante todo o desenvolvimento foram realizadas reuniões semanais com a equipa pluridisciplinar do projecto *Green Bender* por forma a acompanhar o desenvolvimento e discutir novas soluções bem como foi mantido um contacto estreito com potenciais utilizadores, especialistas de LCA e utilizadores experientes em ferramentas CAD para que mais facilmente fossem compreendidas as suas necessidades e para obter o seu parecer e validação a cada incremento do sistema.

Foram também estudadas várias publicações científicas produzidas pelos clientes e por outros investigadores da área do Ecodesign e LCA como meio para identificar requisitos.

3.1.2 Objectivos

O presente projecto visa o desenvolvimento de uma ferramenta que permita a realização de um LCA completo de um produto paralelamente à modelação deste num software CAD, tirando partido das diversas informações contidas no modelo tridimensional CAD e que são de elevada importância para a elaboração do inventário de ciclo-de-vida (LCI).

Nesse sentido, são necessárias metodologias que permitam a extracção de dados relevantes dos modelos CAD e a criação de uma *interface* para a introdução manual de outros dados relevantes, que deverá ser feita paralelamente à modelação, sem, no entanto, perturbar os procedimentos normais de projecto.

Todos os dados recolhidos, quer por via automática, quer por via manual, deverão ser armazenados numa base de dados externa, devidamente formatados por forma estarem em conformidade com as normas internacionais que guiam a aplicação de LCA, para que sejam posteriormente revistos, editados e enviados, como dados de entrada, para um software de LCA.

Esta ferramenta permitirá integrar no processo de concepção metodologias de Ecodesign, com o objectivo de uma efectiva e completa optimização ambiental do produto, sem que para isso seja prejudicada a produtividade nem que o seu tempo de produção seja incrementado de forma crítica. Uma análise ambiental eficaz e completa poderá ser efectuada pelas equipas de *design* de produto, usando os seus resultados para fundamentar decisões de base da concepção do produto, podendo assim, não só minimizar os impactos ambientais de todas as fases do ciclo-de-vida de produto, mas também, consequentemente, adicionar-lhe valor e visibilidade no mercado.

3.1.3 Proposta do Cliente

O cliente, por forma a ir ao encontro dos objectivos acima descritos, propõe, em duas publicações científicas [PRR09, PRRO10], uma estrutura e funcionalidades de uma ferramenta para a integração eficaz de CAD e LCA, de seguida descritas.

Relativamente a tecnologias, os software que se pretendem integrar são o CAD SolidWorks e o software de LCA SimaPro.

A fim de reduzir as desvantagens da utilização de um LCA completa (a necessidade de elevados níveis de formação, demorada análise e a necessidade de introdução manual de grandes quantidades de dados), foi proposta a ferramenta, que visa integrar o CAD com o LCA, com a configuração mostrada na Figura 3.1, dividida em dois principais módulos a serem desenvolvidos, um *add-in* para o SolidWorks, que extrai as informações do modelo e funciona como interface com o *designer* durante a modelação, e uma Aplicação Central para a introdução de informações adicionais e, a efectiva, ligação ao SimaPro.

3.1.3.1 Add-in CAD

Esta ferramenta, sobre a qual o presente projecto mais se foca, deverá ser capaz de recolher dados de peças durante a modelação no software CAD (como árvore do produto, volumes, áreas de superfícies ou comprimentos) e permitir a introdução de dados manualmente, relacionados com parâmetros como materiais, processos de fabrico ou dimensões de matéria prima. A introdução destes dados deverá ser feita a partir de listas de dados importadas de bases de dados LCA, a fim de assegurar a compatibilidade dos dados com o SimaPro e em fórmulas de cálculo integradas. Além disso pode ser acrescentados comentários para facilitar análises futuras.

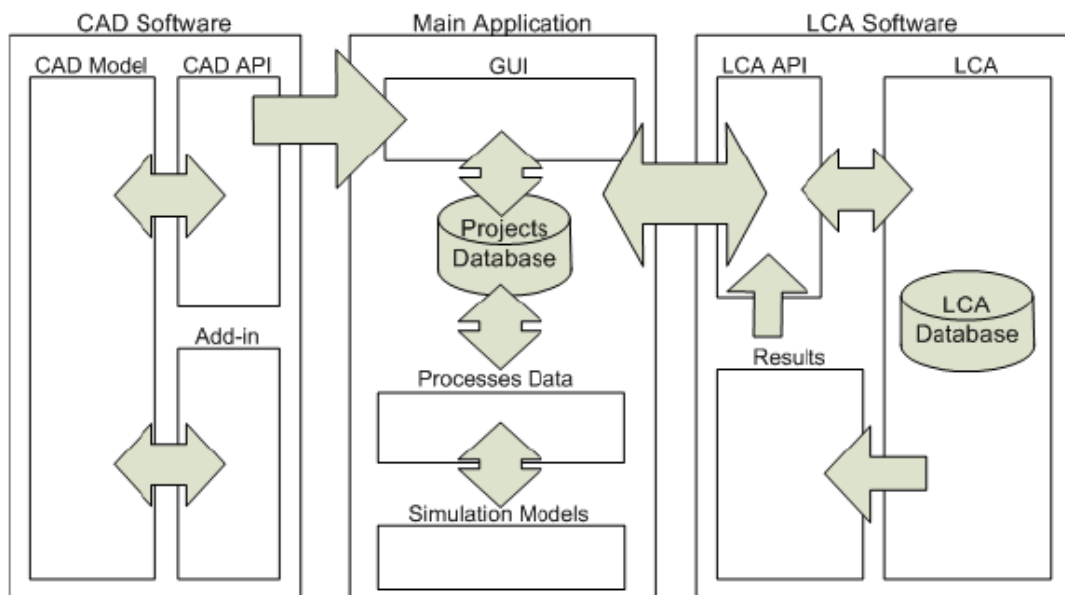


Figura 3.1: Arquitectura da ferramenta proposta pelo cliente [PRR09]

3.1.3.2 Aplicação Central

A função básica deste módulo é ver e editar todos os dados reunidos pelo *add-in* e possibilitar que seja introduzida informação adicional, em especial relativa a fases de uso, transporte e fim de vida, organizada de acordo com as especificações do LCA. Esta informação pode ser introduzida directamente, ou seleccionada a partir das listas de informação das bases de dados LCA. Quando todo o inventário necessário estiver completo, o LCA é calculado usando as potencialidades da API do SimaPro, e os resultados são apresentados de acordo com a configuração e indicadores seleccionados.

3.1.3.3 Outras Considerações

Tipos de Peça

Além das peças modeladas, às quais é possível associar rigorosa informação relativa à fase de fabrico, existem outros tipos de peças que são, por exemplo, compradas e das quais é impossível recolher informação com tanto detalhe, em especial se forem complexas como, por exemplo, motores e válvulas. Desta forma, são consideradas três tipos de peças:

- **Manufactured:** Peças que são, de facto, modeladas no SolidWorks e que existe informação de fabrico para completar os dados necessários para o LCI;
- **Standard:** Peças parcialmente modeladas no CAD, apenas com formas simples, no *add-in* apenas são inseridos dados elementares e, posteriormente, a informação é completa no Aplicação Central;

- Black box: Estas peças são modeladas de forma simplificada, apenas tendo algum detalhe no seu aspecto, principais dimensões e na sua posição relativa no conjunto. Os restantes parâmetros principais têm que ser especificados.

Materiais

O material de cada peça tem que ser referenciado com a mesma nomenclatura existente nas bases de dados do software de LCA. Desta forma, as selecções de materiais terão de ser feitas partindo de uma lista de materiais disponíveis nas diversas bases de dados acedidas pelo software de LCA.

A massa da peça será calculada pelo produto do volume desta (disponível no modelo CAD) com a densidade do material seleccionado.

A matéria prima pode ser de dois tipos, *solid shape* (em bloco) ou *net shape* (pré-forma). No caso de *solid shape* é necessário definir a massa inicial da peça, sendo esta igual ao produto da densidade do material pelo volume do bloco de matéria prima inicial.

Processos

Na compilação do LCI os processos de fabrico têm associado um valor que, dependendo do tipo de processo, tem representação diferente e, consequentemente, tem unidades diferentes. Estes valores, de acordo com o processo de fabrico, são calculados seguinte forma:

- Chipless Shaping (Excepto processos de Laser) = Massa da peça.
- Chipless Shaping (Laser) = Tempo de corte (velocidade de corte X comprimento)
- Coating = Somatório das áreas das faces envolvidas no processo
- Welding = Somatório do comprimento das arestas envolvidas no processo
- Chipping (Peça *solid shape*) = massa de material desperdiçado (Massa inicial – Massa pós processo)
- Chipping (Peça *net shape*) = massa de material desperdiçado (Massa peça X percentagem de desperdício)

Tempo de Vida

Existem componentes do produto que são consumíveis (*spare parts*) e necessitam de ser substituídos ao longo do tempo de vida do produto. Nestes casos a análise ambiental tem que incidir sobre o número total de componentes necessários para acompanhar todo o toda a vida do produto, por exemplo, se numa máquina com um tempo de vida de 5 anos existir um filtro que necessite de ser substituído anualmente, devem ser contabilizados os impactos de 5 filtros.

3.2 Requisitos

Os requisitos de um sistema são a descrição dos serviços e funcionalidades que este deve disponibilizar e as suas restrições operacionais. Estes requisitos devem reflectir as necessidades dos utilizadores por forma a que o sistema desenvolvido possa contribuir de forma efectiva para a resolução dos seus problemas [Som07].

Uma boa especificação de requisitos traz diversos benefícios ao processo de desenvolvimento de software, entre os quais [IEE98]:

- Permite o estabelecimento de um acordo entre os diversos interessados no software (clientes, utilizadores, fornecedores) sobre o que este deverá ser e quais as suas funcionalidades.
- Fornece uma base para estimativas de custos e tempos de desenvolvimento.
- É um ponto de partida para validações e verificações.

3.2.1 Requisitos Funcionais

De seguida são apresentados e descritos todos os requisitos funcionais especificados. Estes foram divididos em dois módulos, um relativo ao *add-in* para o software CAD e outro para a Aplicação Central (Figura 3.2).

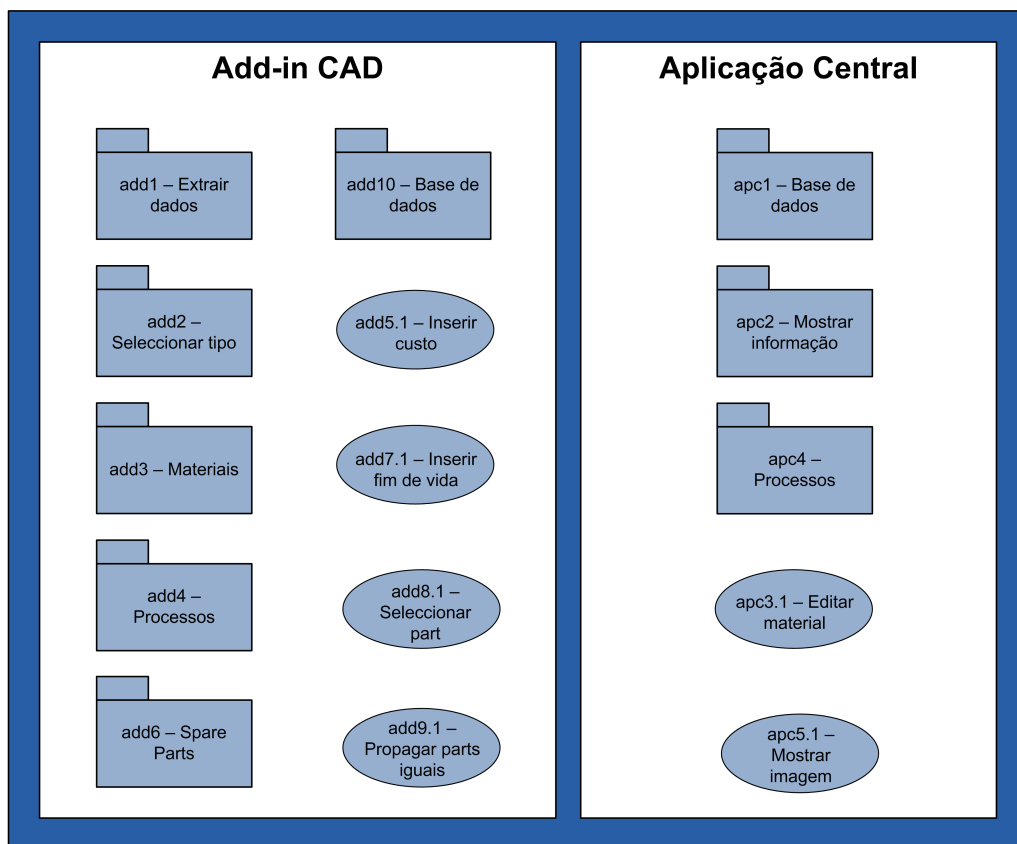


Figura 3.2: Requisitos funcionais

3.2.1.1 Add-in CAD

Este módulo é relativo ao add-in do software CAD, que será essencialmente responsável pela recolha automática de informações dos modelos digitais e que, irá permitir a inserção automática de dados e a sua associação com cada uma das partes do produto. Apresentam-se de seguida os seus requisitos funcionais.

ID	Nome	Descrição
add1	Extrair dados	Extracção automática de dados dos modelos CAD
add1.1	Obter dados	Obter, para cada <i>assembly</i> , <i>sub-assembly</i> e <i>part</i> , os valores de volume e área de superfície
add1.2	Calcular massa	Calcular, para cada <i>assembly</i> , <i>sub-assembly</i> e <i>part</i> , a massa (kg) a partir do valor da densidade do seu material
add1.3	Obter tempo de processo	Calcular, para processos <i>chipless shaping</i> baseados em laser, o tempo, ou seja, o produto da velocidade de corte, pelo comprimento
add1.4	Obter área de superfície de faces	Calcular, para processos <i>coating</i> o somatório da área das faces a aplicar o processo
add1.5	Obter comprimento de aresta	Calcular, para processos <i>welding</i> o somatório do comprimento das aresta a aplicar o processo
add1.6	Calcular massa de material desperdiçado	Calcular, para processos <i>chipping</i> a massa do material removido
add1.7	Obter massa inicial	Obter massa inicial (<i>raw material mass</i>) em caso de <i>solid shape</i>
add1.8	Calcular custo	Calcular o custo de cada <i>part</i> . Somatório do custo da <i>raw material</i> com o custo de todos os processos associados
add2	Seleccionar tipo	Seleccionar o tipo de cada <i>assembly</i> , <i>sub-assembly</i> e <i>part</i> , podendo este ser <i>Manufactured</i> , <i>Standard</i> ou <i>Black Box</i>
add2.1	Adicionar nome e observação	Adicionar, para parts <i>Standard</i> ou <i>Black Box</i> nome e uma observação para referência futura
add2.2	Editar nome e observação	Editar, para parts <i>Standard</i> ou <i>Black Box</i> o seu nome e observação
add3	Definir dados de materiais	Inserção manual de informações adicionais para cada <i>assembly</i> , <i>sub-assembly</i> e <i>part</i> do tipo <i>Manufactured</i>

Análise do Trabalho

add3.1	Seleccionar material	Seleccionar material a partir da lista de materiais concordantes com a base de dados
add3.2	Editar material seleccionado	Seleccionar novo material a partir da lista de materiais concordantes com a base de dados.
add3.3	Seleccionar tipo de matéria prima	Seleccionar se a matéria prima provém de um bloco de material (<i>solid shape</i>) ou de uma pré-forma <i>net shape</i>
add3.4	Inserir a massa inicial	Inserir massa inicial (<i>raw material mass</i>) em caso de <i>solid shape</i>
add3.5	Editar a massa inicial	Editar massa inicial (<i>raw material mass</i>) em caso de <i>solid shape</i>
add3.6	Inserir comentário	Inserir um comentário relacionado com a peça
add3.7	Editar comentário	Editar comentário relacionado com a peça
add4	Definir dados de processos	Incensação manual de informações adicionais para cada <i>assembly</i> , <i>sub-assembly</i> e <i>part</i> do tipo <i>Manufactured</i>
add4.1	Adicionar processo	Adicionar novo processo de fabrico, definindo tipo, valor, tempo estimado e comentário.
add4.2	Apagar processo	Apagar processo de fabrico e informações deste.
add5.1	Inserir custo	Inserir manualmente o custo de cada <i>part</i>
add6	<i>Spare part</i>	Definir informações de <i>Spare parts</i>
add6.1	Definir como Spare	Definir part com <i>Spare part</i>
add6.2	Definir tempo de vida	Definir definir tempo de vida de uma <i>Spare part</i>
add7.1	Definir fim de vida	Escolher qual a opção de fim de vida
add8.1	Seleccionar part	Seleccionar a <i>parta</i> editar com o clicando sobre esta.
add9.1	Propagar dados para parts iguais	Permitir que dados adicionados a uma <i>part</i> sejam também associados a todas as <i>parts</i> iguais.
add10	Base de dados	Criar base de dados para armazenar informação.
add10.1	Guardar dados	Armazenar toda a informação numa base de dados, em condições para ser transferida para a Aplicação Central.
add10.2	Carregar dados	Carregar informações da base de dados para visualização e edição

Tabela 3.1: Requisitos Add-in CAD

3.2.1.2 Aplicação Central

Na Aplicação Central será visualizada e editada toda a informação reunida no add-in. Estão, seguidamente, descritos os seus requisitos.

ID	Nome	Descrição
apc1	Base de dados	Aceder à base de dados do add-in
apc1.1	Carregar as informações da base de dados	Carregar as informações reunidas no add-in
apc1.2	Guardar as alterações na base de dados	Guardar as informações na base de dados do add-in
apc2	Mostrar informações	Mostrar os dados recolhidos no add-in
apc2.1	Criar árvore do produto	Recriar a árvore de produto tal como foi modelado no CAD
apc2.2	Visualizar dados de materiais e processos	Mostrar todos os dados reunidos no add-in
apc3.1	Editar materiais	Editar todas as informações relativas a materiais
apc4	Editar lista de processos	Editar lista de processos carregada do CAD
apc4.1	Adicionar processos	Adicionar novo processos
apc4.2	Editar processos	Editar processos, quer os adicionados nesta aplicação, quer os carregados do add-in
apc5.1	Mostrar imagem	Mostrar imagem de cada <i>part</i>

Tabela 3.2: Requisitos Aplicação Central

3.2.2 Requisitos Não Funcionais

3.2.2.1 Eficiência

O desempenho desta aplicação irá afectar o desempenho global de alguns processos centrais da concepção e desenvolvimento de produto, desta forma, espera-se, por isso, que todas as funcionalidades implementadas tenham em vista a utilização eficiente dos recursos do sistema. Apesar de a resposta para com o utilizador não necessitar de ser instantânea, espera-se que o tempo das operações e resultados seja aceitável.

3.2.2.2 Escalabilidade

O sistema deverá preparado para tratar de modelos de diferentes níveis de complexidade, desde uma simples *part* até *assemblies* de elevada dimensão.

3.2.2.3 Fiabilidade

Os dados extraídos e as operações realizadas irão ser usadas como entrada numa análise cujos resultados serão usados como uma importante base na toma de decisões fulcrais no desenvolvimento do produto. Assim, é de extrema importância garantir que todos os dados utilizados são de confiança.

3.2.2.4 Usabilidade

Usabilidade é o atributo qualitativo que representa o quão uma interface é simples de usar. Esta análise envolve aspectos como a curva de aprendizagem, eficiência, memória, prevenção de erros e satisfação do utilizador.

Neste caso em concreto, o facto da aplicação ser usada paralelamente ao processo de modelação de produtos, torna obrigatório que a sua utilização seja prática, simples e intuitiva, de modo a que seja facilmente integrado nos processos correntes de modelação e sem reduzir-lhes a eficiência.

Capítulo 4

Implementação

4.1 Solução

A solução implementada segue a divisão geral em dois módulos, referida anteriormente, sendo eles:

Add-in CAD: Aplicação integrada no SolidWorks que permita interacção com um modelo tridimensional por forma a:

- extrair informações relevantes para a criação de um inventário de ciclo-de-vida;
- criar uma interface com o utilizador por forma a que ele associe a cada componente do modelo informações adicionais, também estas relativas à compilação do inventário de ciclo-de-vida;
- disponibilizar ferramentas adicionais para automatizar cálculos de valores associados a processos de fabrico;
- normalizar todos os dados para que estejam de acordo com as normas de LCA e exporta-los uma base de dados;

Aplicação Central: Aplicação desenvolvida no âmbito de outra dissertação de mestrado, que permite o envio de dados de inventário ao software de LCA SimaPro e a recolha e análise dos resultados por este produzidos. Foi aí implementado um módulo que tem o objectivo de fornecer uma interface simples e eficaz para a visualização e edição dos dados recolhidos pelo add-in e para a introdução de mais informação complementar.

Esta aplicação pode ser utilizada quer integrada no SolidWorks, quer independentemente deste, necessitando apenas de acesso à base de dados criada pelo add-in.

A solução, aqui descrita, envolve a criação de duas bases de dados. Uma, contendo os dados relativos ao LCA, importados das bases de dados de LCI disponibilizadas pelo software de LCA

SimaPro, aos quais foram acrescentados dados necessários para os cálculos internos da aplicação. E, uma outra, onde será armazenada a informação de inventário recolhida pelo add-in e editada na Aplicação Central.

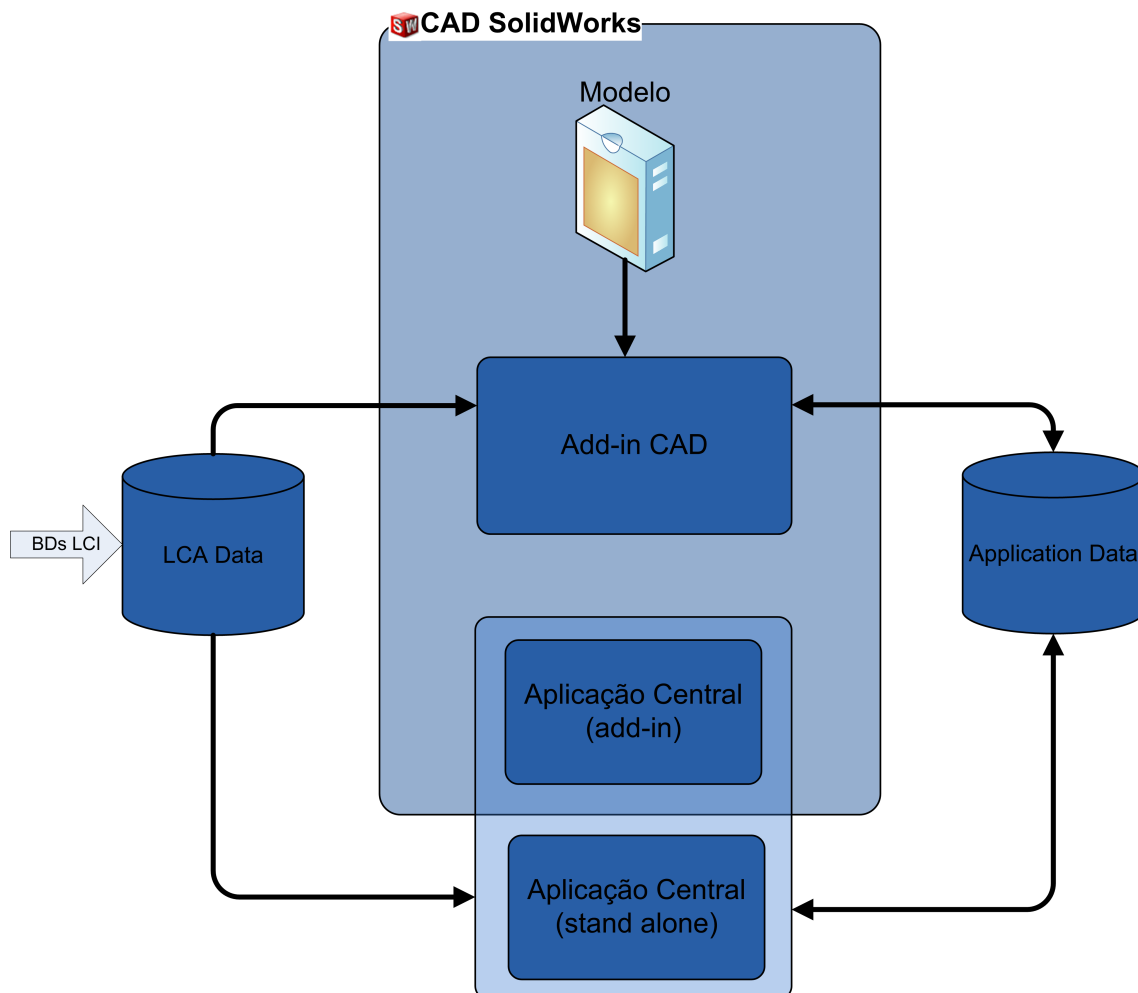


Figura 4.1: Arquitectura simplificada da solução implementada

4.1.1 Add-in CAD

O add-in CAD é uma ferramenta totalmente integrada no SolidWorks, alargando-lhe a gama de funcionalidades para, agora, reunir um conjunto de dados a usar futuramente em análises de ciclo-de-vida dos produtos nele modelados. Para isso foi acrescentada à sua interface um menu (Figura 4.2) que dá acesso a diversas ferramentas para facilitar a recolha desses dados.

Quando o add-in é iniciado é, para cada componente do produto aberto nessa altura, extraído automaticamente o seu volume e a área de superfície. Após a selecção de um componente, que pode ser feita clicando directamente sobre este no modelo ou seleccionando-o na árvore de produto, é necessário escolher a tipologia da peça (ver 3.1.3.3). Caso a peça seja do tipo *manufactured*

Implementação

é, então, possível introduzir, para essa peça, informações adicionais relacionadas com materiais, processos de fabrico, tempo e fim de vida e custos.

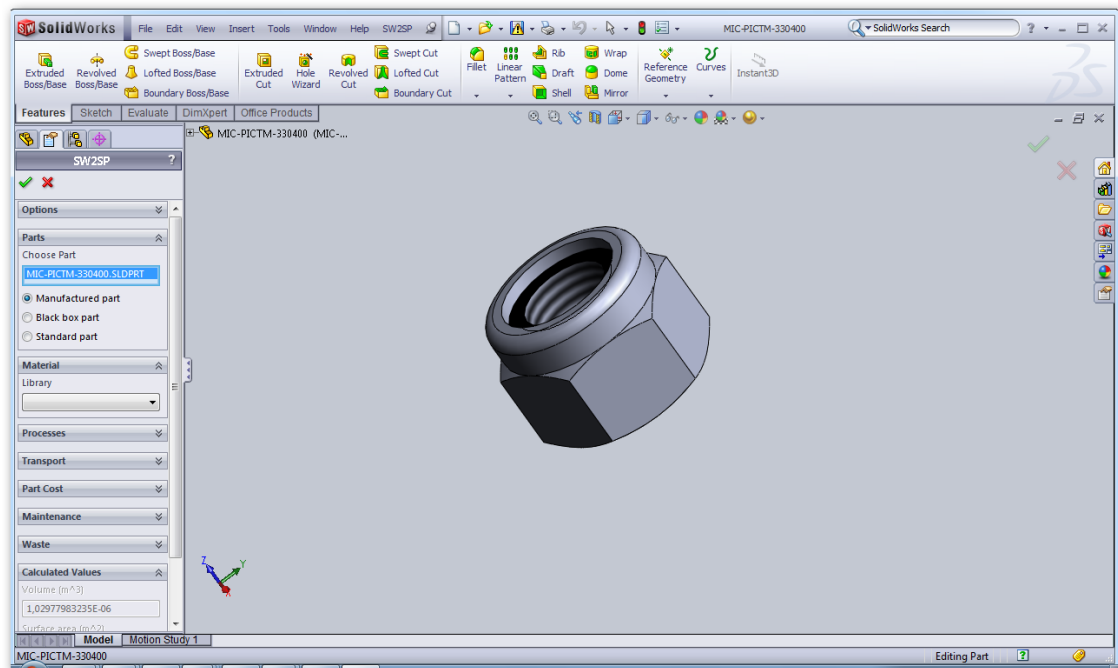


Figura 4.2: SolidWorks com add-in aberto

4.1.1.1 Funcionalidades

- Extracção automática de volumes e áreas do componentes;
- Cálculo automático da massa dos componentes;
- Selecção de componentes directamente no modelo 3D com clique de rato;
- *Highlight* do componente seleccionando (Figura 4.4);
- Possibilidade de explorar a árvore do produto e abrir ficheiros de componentes em específico mantendo acesso ao add-in;
- Selecção de materiais e processos de fabrico estruturada de acordo com a sua fonte e tipologia (Figura 4.3);
- Definição do tipo e dimensão da matéria prima (ver 4.1.1.2);
- Ferramentas de apoio aos cálculos de valor de processos (ver 4.1.1.2);
- Cálculo preliminar de custos;
- Marcação do componente como consumível e definição do seu tempo de vida;

Implementação

- Definição da opção de fim de vida;
- Associação de comentários a cada componente;
- Propagação dos dados inseridos por todos os componentes iguais;
- Exportação e importação de dados;
- Dados e suas unidades em concordância com LCA.

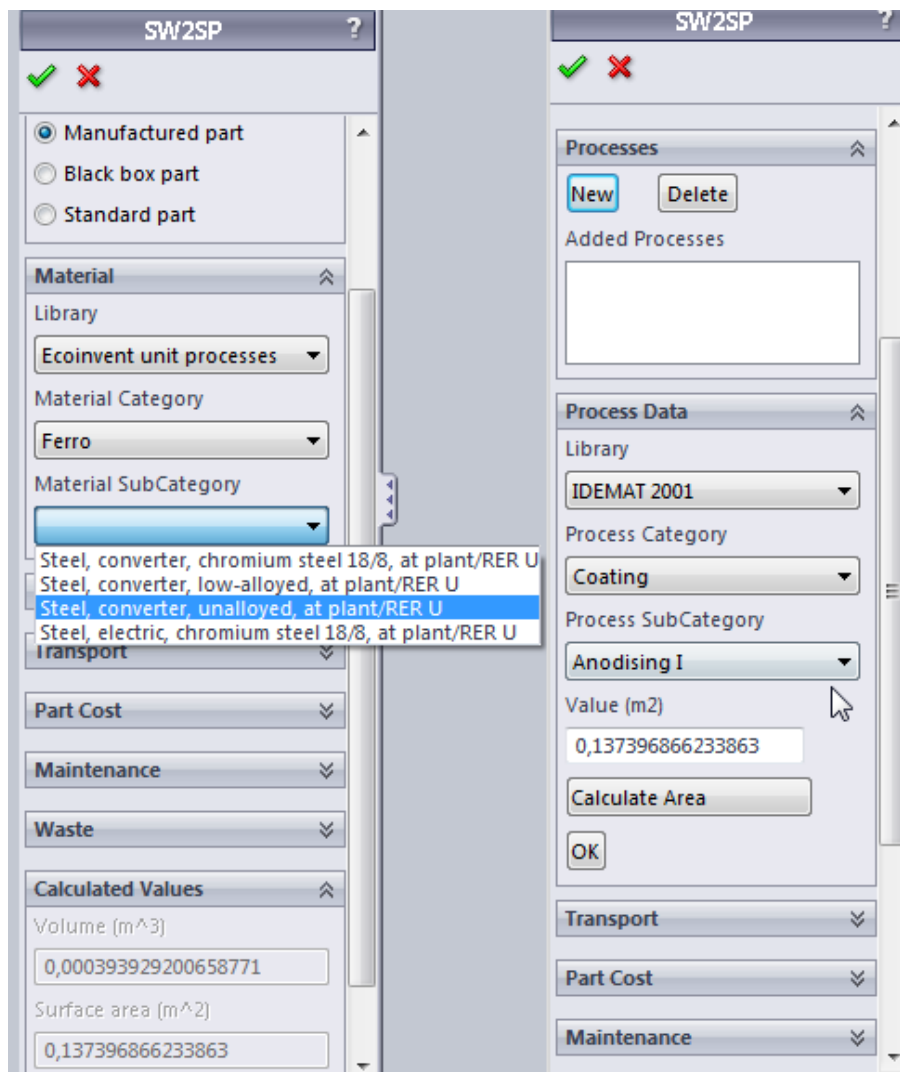


Figura 4.3: Selecção de materiais (à esquerda) e processos (à direita)

Implementação

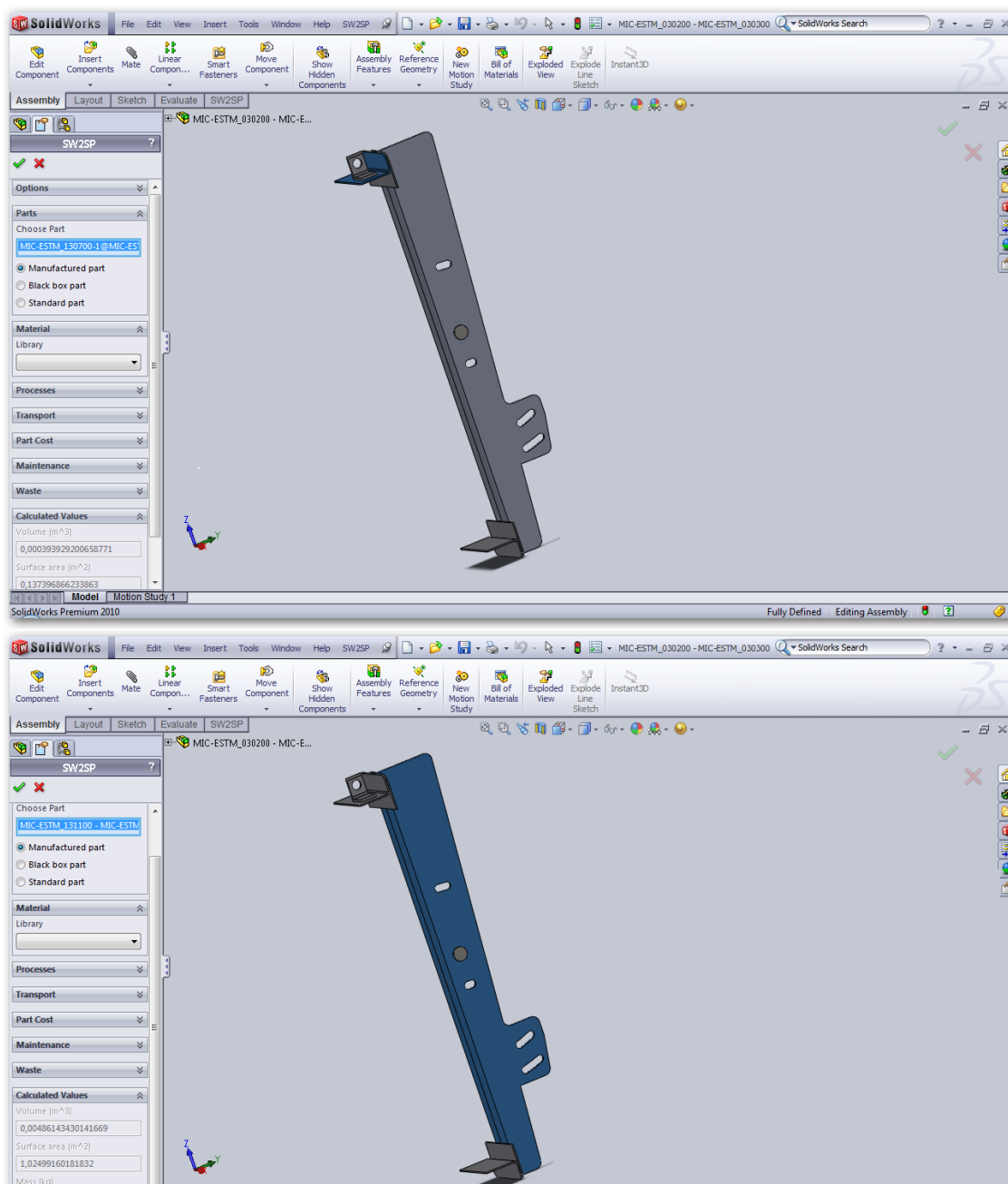


Figura 4.4: Selecção de componentes

4.1.1.2 Ferramentas de Cálculo

A necessidade de obter valores que, por norma, são ignorados aquando da modelação de produtos, para associar a, por exemplo, processos de fabrico é um factor que diminui a produtividade do *designer*, visto que estes cálculos obrigam muitas vezes à consulta de valores no CAD e ao seu tratamento manual.

Implementação

Por forma a agilizar os cálculos destes valores foram desenvolvidas ferramentas que permitem, dentro do possível, automatizar a forma como estes são feitos, extraindo os valores necessários do CAD e realizando os cálculos internamente.

As ferramentas criadas foram as seguintes:

Cálculo de comprimentos

Os processos que envolvam soldadura (*welding*) têm como parâmetro o comprimento de solda, ou seja o somatório dos comprimentos das arestas às quais o processo vai ser aplicado. O método manual de cálculo envolveria seleccionar cada uma das arestas para visualizar o seu comprimento e realizar a soma fora do CAD. A ferramenta permite, realizar este cálculo apenas seleccionando quais as arestas desejadas (Figura 4.5).

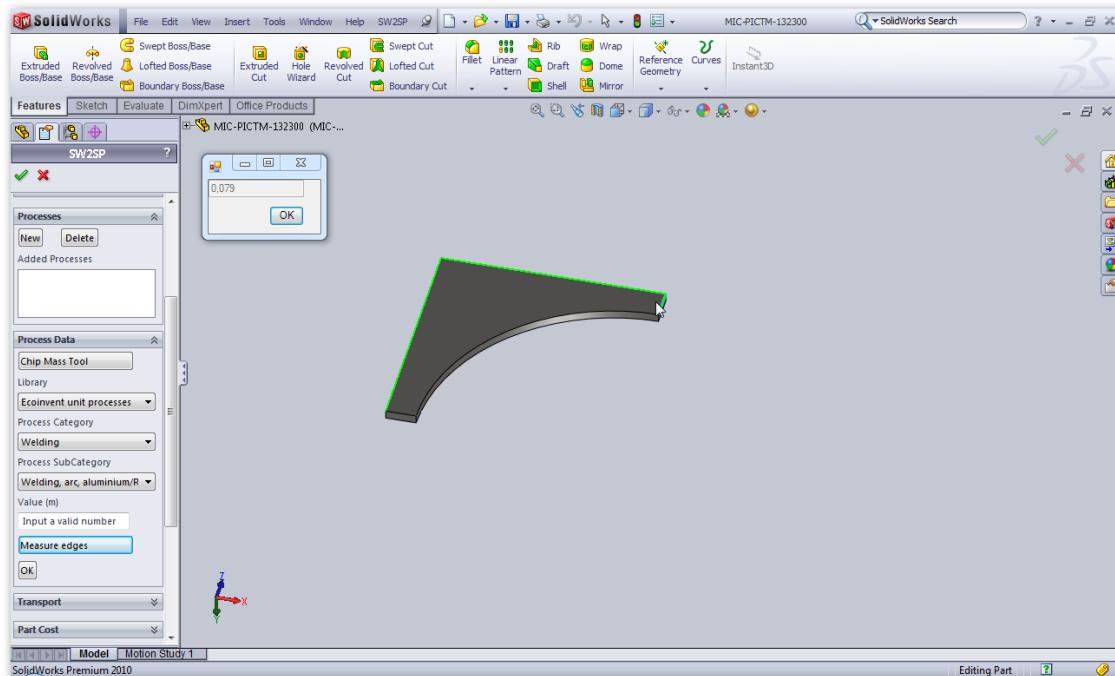


Figura 4.5: Ferramenta de cálculo de comprimentos

Cálculo de área

O valor dos processos de revestimento (*coating*) é a área total revestida. No caso do processo se aplicar a toda a peça, o valor utilizado é a área total de superfície, valor que facilmente se têm acesso, mas no caso de só algumas faces serem afectadas o cálculo das suas áreas seria realizado de forma semelhante ao que acontecia nos processos de soldadura, o utilizador teria que visualizar o valor de cada uma das faces e, realizar manualmente o somatório. Da mesma forma, foi também criada uma ferramenta que realiza estes cálculos, sendo apenas necessário seleccionar as faces pretendidas.

Implementação

Material desperdiçado

Nos processos de arranque de apara (*chipping*) o valor associado é a massa do material aparado, que pode ser obtido calculando a diferença de massas entre a peça antes e depois de lhe ser aplicado o processo. Para isso foi desenvolvida uma ferramenta que guarda o volume da peça permitindo fazer este cálculo depois de lhe aplicar alguma operação (Figura 4.6).

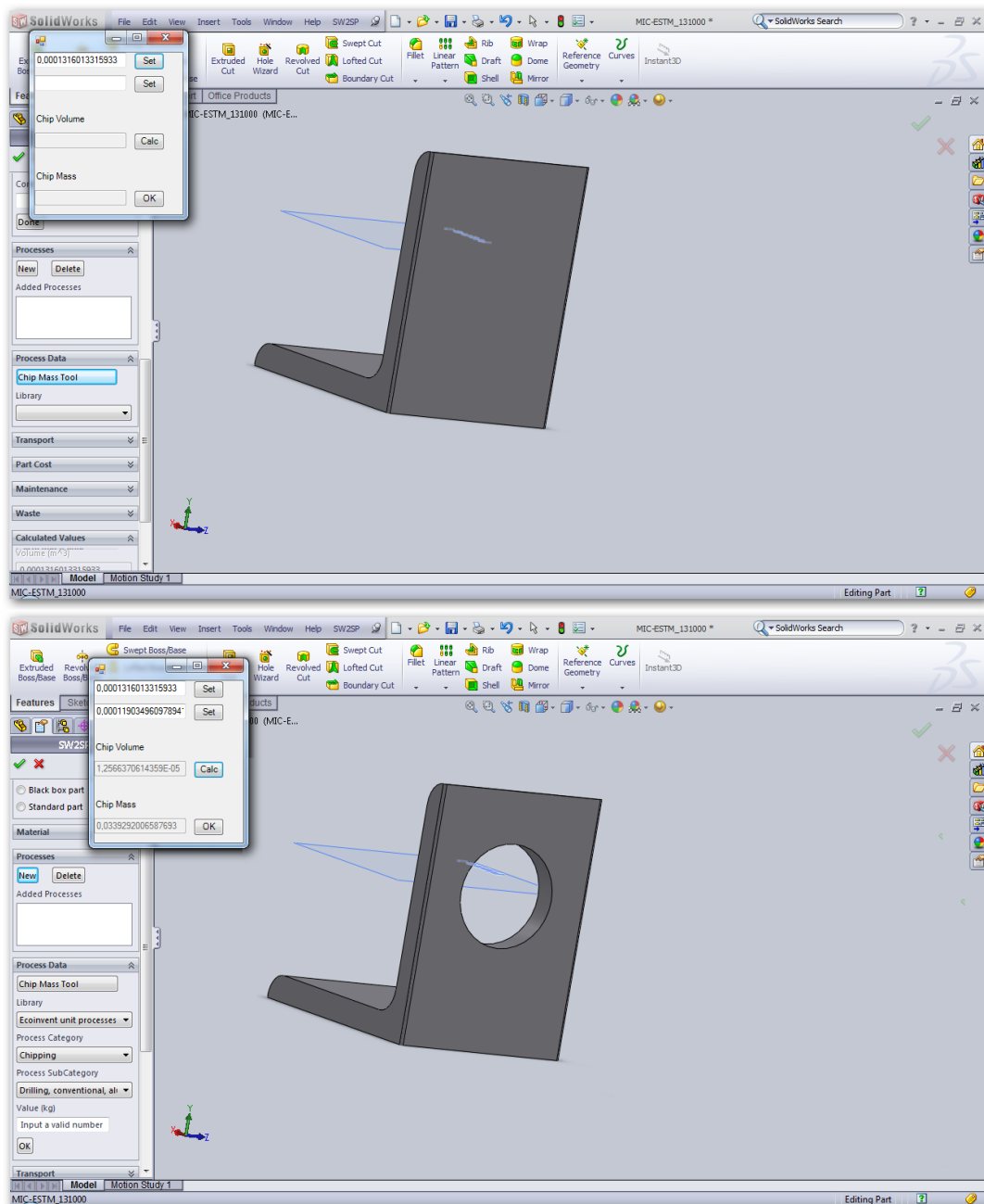


Figura 4.6: Ferramenta de quantificação de material desperdiçado

Tempo

Em processos de corte a laser é necessário conhecer o tempo de corte, ou seja, o produto do comprimento do corte pela velocidade de corte da máquina. Está disponível uma ferramenta, que introduzindo a velocidade de corte e seleccionando as arestas cortadas, calcula o tempo de corte.

Massa inicial

Quando um componente é marcado como sendo *solid shape* é necessário introduzir a sua massa inicial. É disponibilizada uma ferramenta que permite escolher um modelo e definir a sua massa como massa inicial.

Massa

Muitos outros processos, como processos sem arranque de apara, têm como valor a massa do componente. Estando esta massa já calculada pelo add-in não envolve nenhum cálculo adicional, sendo automaticamente associada ao processo.

4.1.1.3 Interface Gráfica

A interface do add-in foi desenvolvida numa *PropertyManager Page* do SolidWorks. A *PropertyManager* aparece no painel à esquerda da área gráfica. E é utilizada, geralmente, para seleccionar opções e introduzir parâmetros de várias operações (Figura 4.7).

A API do SolidWorks disponibiliza funcionalidades que permitem a criação de *PropertyManager Pages* personalizadas, que suportam todos os comandos e funções disponíveis nas *PropertyManager Page* nativas e a fácil interacção com o modelo [Sys09].

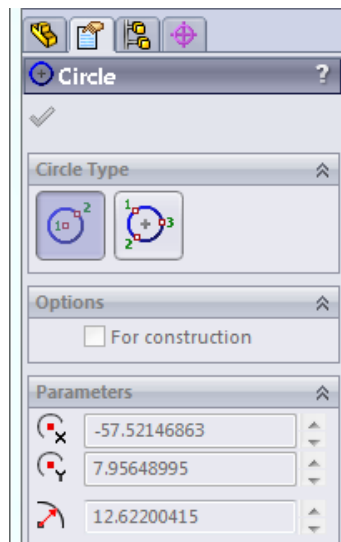


Figura 4.7: Exemplo de Property Manager Page - Desenho de círculos

A interface está dividida em diversas *group boxes* que vão sendo expandidas à medida que a informação é adicionada pelo utilizador (Figura 4.8), que são descritas de seguida.

Options

Neste grupo é possível guardar o projecto, carregar um já existente e reinicializar o actual. Além disso, se a opção *Apply changes to equal parts* for activa os dados introduzidos num componente serão aplicados a todos os componentes iguais presentes no *assembly*

Parts

Neste conjunto é visualizado o componente seleccionado e selecciona-se o seu tipo. Se for do tipo *manufactured* o grupo relativo a materiais é expandido.

Materials

Aqui é feita a escolha do material. Para isso selecciona-se a *library* a que ele pertence, a sua categoria e, por fim, o material, sendo mostrada a sua densidade e o seu preço por quilo.

Finalmente, é escolhida o tipo de matéria prima e, no caso de *solid shape*, é necessário introduzir a massa inicial, podendo ser utilizada a ferramenta *Raw Mass Tool* para esse efeito.

Processes/Process Data

Em *Processes* é possível adicionar um novo processo de fabrico e é mostrada a lista de processos já adicionados, os quais se podem apagar.

Para a adição de um novo processo é expandido o conjunto *Process Data*, onde é seleccionado o processo (a partir da *library* e categoria) e definido o seu valor, que dependendo do tipo de processo poderá ter uma ferramenta de apoio associada (ver [4.1.1.2](#)).

É ainda, opcionalmente, possível inserir um comentário e o tempo de execução do processo.

Part Cost

Esta secção não é relativa a impactos ambientais mas custos económicos. Pode ser inserido o custo estimado da peça ou calculado automaticamente pela soma do preço da matéria prima com o somatório dos preços de todos os processos desse componente.

Maintenance

Aqui pode o componente pode ser marcado como consumível e, nesse caso, definir o seu tempo de vida.

Waste

Neste grupo é visualizado qual o tipo de resíduo produzido pelo componente aquando do seu fim de vida e pode ser definido qual vai ser o seu destino final.

Calculated Values

Visualização os valores de volume, área de superfície e massa do componente seleccionado.

Implementação

The screenshot displays the SW2SP add-in interface, which is organized into four main panels:

- Options Panel:** Contains a 'SW2SP' header with a help icon. Below it are 'Save', 'Load', and 'New' buttons. A checkbox 'Apply changes to all equal parts' is checked. The 'Parts' section has a 'Choose Part' dropdown showing 'MIC-PICTM-330400.SLDPRT' and three radio buttons: 'Manufactured part' (selected), 'Black box part', and 'Standard part'.
- Material Panel:** Features a 'Library' dropdown set to 'Ecoinvent unit processes'. It includes dropdowns for 'Material Category' (Non ferro) and 'Material SubCategory' (Aluminium, production mi...). Input fields for 'Material Density' (2700), 'Material Price per Kg' (5), and 'Raw Material Mass(kg)' (Input a valid number) are present. There are radio buttons for 'Solid Shape' (selected) and 'Net Shape'. A 'Raw Mass Tool' button and a 'Comments' text area are also included.
- Processes Panel:** Has 'New' and 'Delete' buttons. The 'Added Processes' list shows 'Selective coating, copper shee'. The 'Process Data' section includes a 'Library' dropdown (Ecoinvent unit processes), 'Process Category' (Welding), and 'Process SubCategory' (Welding, gas, steel/RER U). It has input fields for 'Value (m)' (0.3) and 'Estimated process time (hr)'. There are 'Measure edges' and 'OK' buttons, and a 'Comments' text area.
- Part Cost Panel:** Includes a checkbox for 'Estimated Price (€) (Raw material + processes)'. A checked checkbox 'Calculated per process' is followed by input fields for 'Raw Material Price (€)' (10) and 'Sum of processes Cost (€)' (2). The 'Maintenance' section has a checked 'Spare part' checkbox and a 'Part life time' input field. The 'Waste' section has a 'Waste Type' dropdown (Aluminium) and three radio buttons: 'Recycle', 'Reuse', and 'Waste'. The 'Calculated Values' section displays 'Volume (m^3)' (1,02977983235E-06), 'Surface area (m^2)' (0,000855055614983922), and 'Mass (kg)' (0,002780405547345).

Figura 4.8: Interface gráfica do add-in

4.1.2 Aplicação Central

O módulo implementado nesta aplicação permite carregar as informações compiladas no add-in, complementa-las e edita-las com o objectivo de junta-las a um inventário de ciclo-de-vida para realizar um LCA. Como pode ser visto na Figura 4.9 este módulo, é parte integrante de uma aplicação que, interage com o software LCA SimaPro com o objectivo de enviar-lhe o LCI compilado por forma a ser aí realizado o LCA e recolher os resultados da análise. Além disso, também via SimaPro, é possível aceder a diversas bases de dados ecológicas de inventário que contêm dados importantes para a criação da base de dados LCA Data (ver 4.1.3).

Esta aplicação pode ser lançada dentro do SolidWorks, a partir do add-in, por forma a ser operada de forma mais ligada à modelação mas também pode correr com uma aplicação independente (*stand-alone*), solução ideal, por exemplo, para técnicos de LCA que não necessitem do CAD e para realizar acções não relacionadas com dados de produção, além de poder ser utilizada sem a necessidade de ter o SolidWorks instalado.

Descrevem-se de seguida as funcionalidades e a interface com o utilizador do módulo implementado.

Implementação

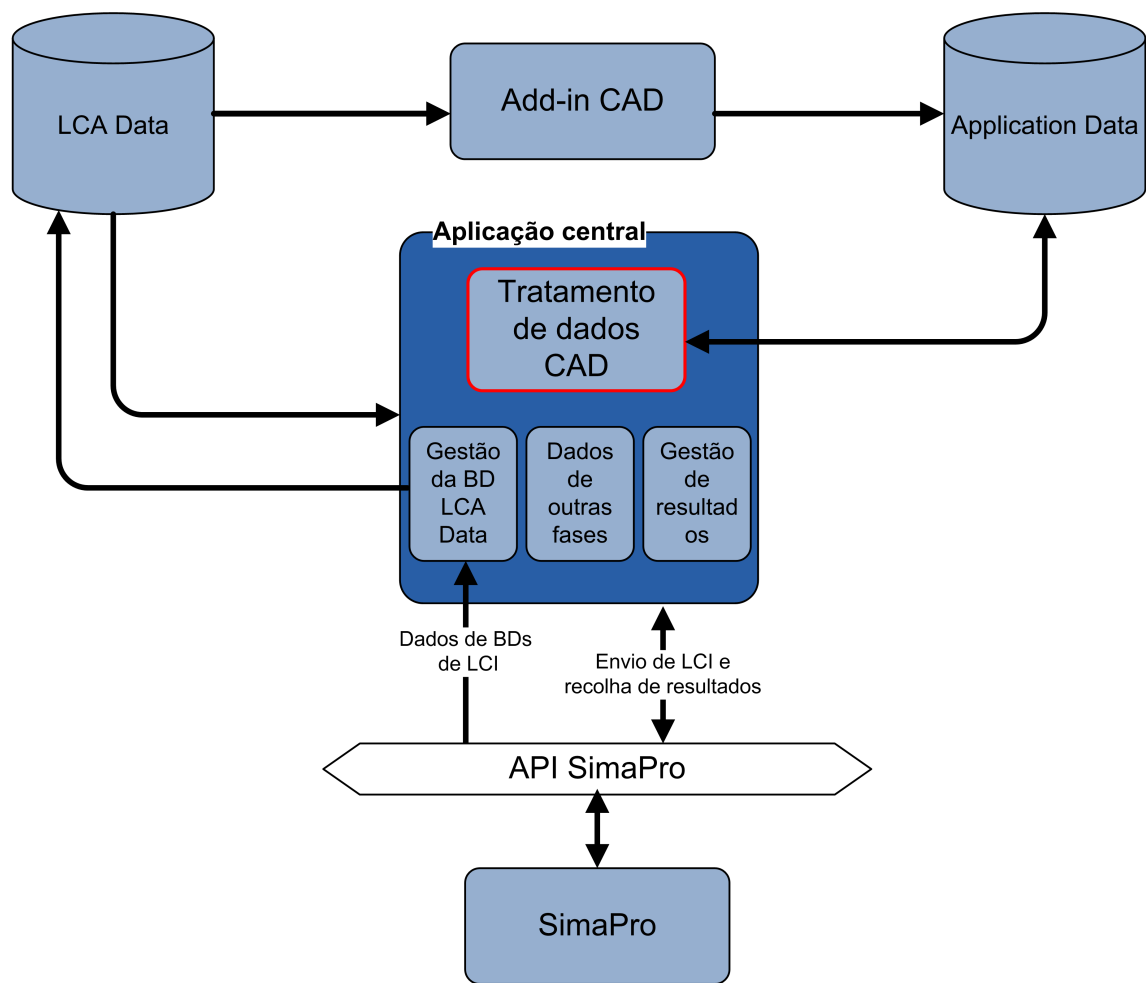


Figura 4.9: Arquitectura da Aplicação Central

4.1.2.1 Funcionalidades

- Carregar, da base de dados, as informações compiladas no add-in;
- Guardar para a base de dados as alterações realizadas;
- Recriar a árvore do produto, tal como foi modelada no CAD;
- Visualizar, para cada componente, as informações compiladas no add-in;
- Editar materiais dos componentes;
- Editar e acrescentar processos de fabrico;
- Visualizar imagem do componente seleccionado;
- Todos os dados e respectivas unidades em concordância com o software de LCA.

4.1.2.2 Interface Gráfica

A interface gráfica deste módulo baseia-se em duas *tabs*, uma relativa aos materiais (Figura 4.10) e outra relativa a processos de fabrico (Figura 4.12).

Na área dos materiais é possível visualizar toda a informação relativa a estes, assim como uma imagem da peça e efectuar alterações (Figura 4.11). As alterações são realizadas, como também era feito no add-in, a partir de listas de materiais para que as escolhas fiquem em conformidade com o SimaPro.

Em relação aos processos, é mostrada a lista de todos os processos correspondentes ao componente seleccionado, podendo estes serem editados (Figura 4.13) e que sejam adicionados novos, sempre em concordância com o SimaPro.

Do lado esquerdo da janela visualiza-se a árvore do produto, onde se selecciona o componente a visualizar ou editar.

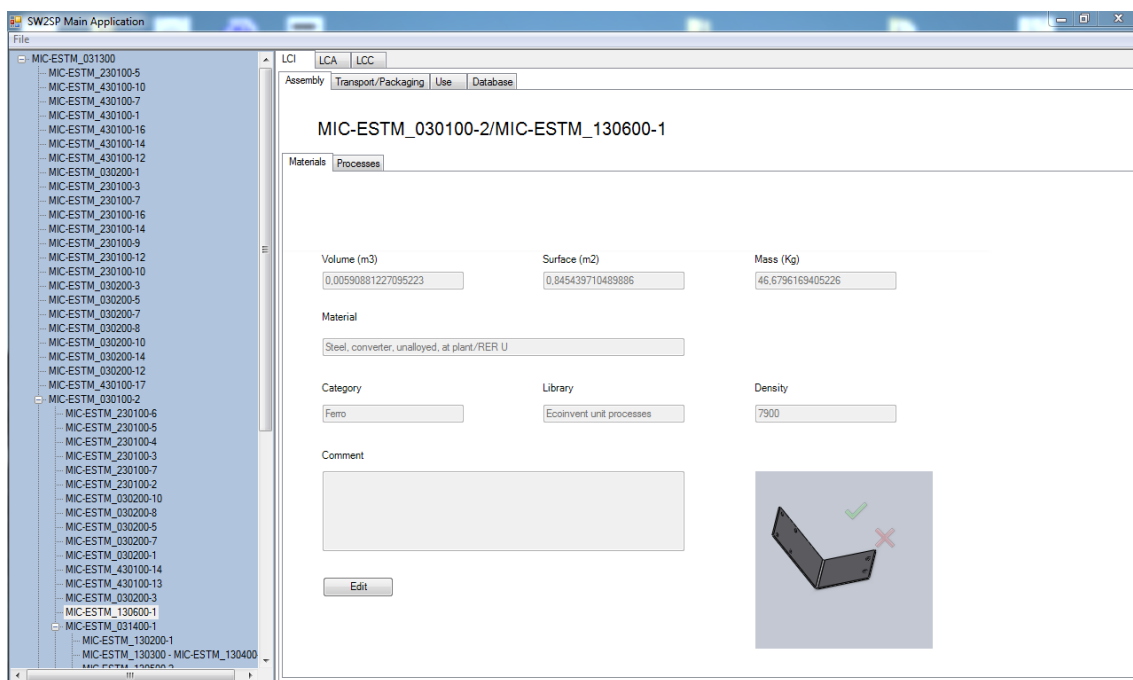


Figura 4.10: Interface da Aplicação Central - Tab de materiais

Implementação

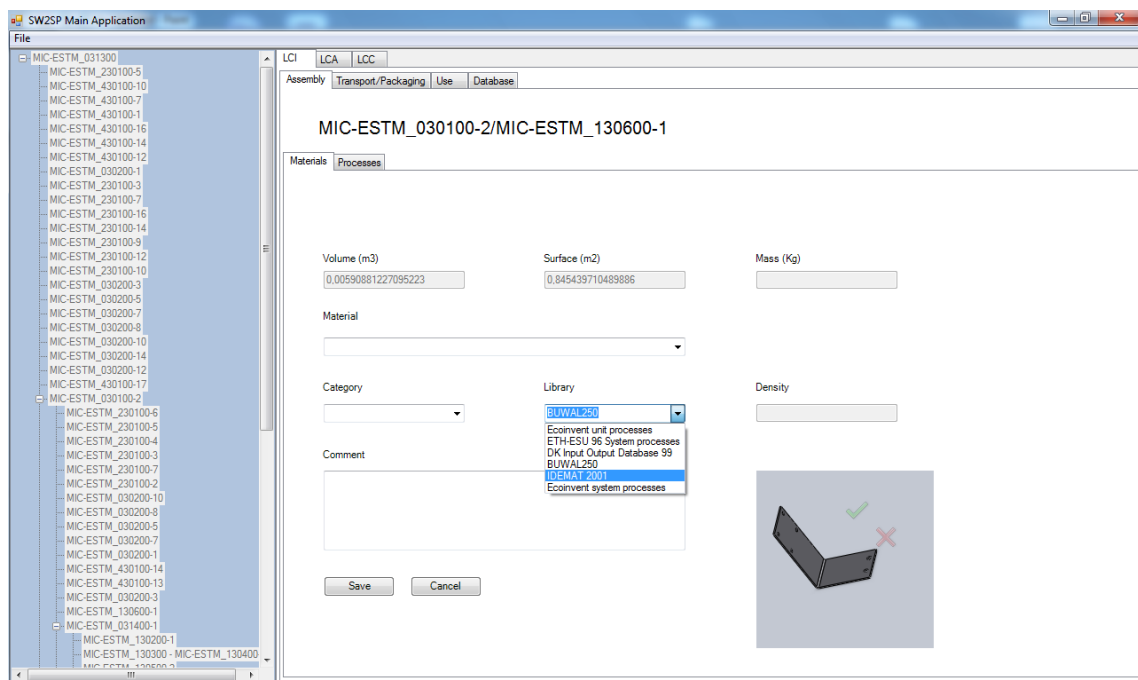


Figura 4.11: Interface da Aplicação Central - Tab de materiais: Edição

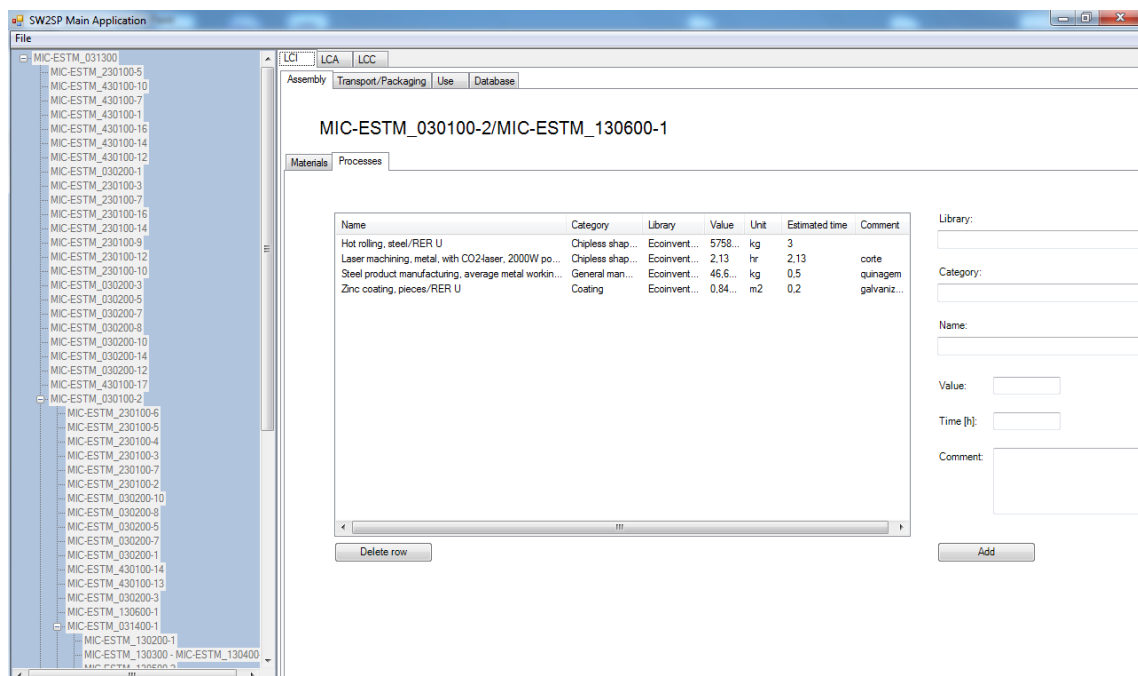


Figura 4.12: Interface da Aplicação Central - Tab de processos

Implementação

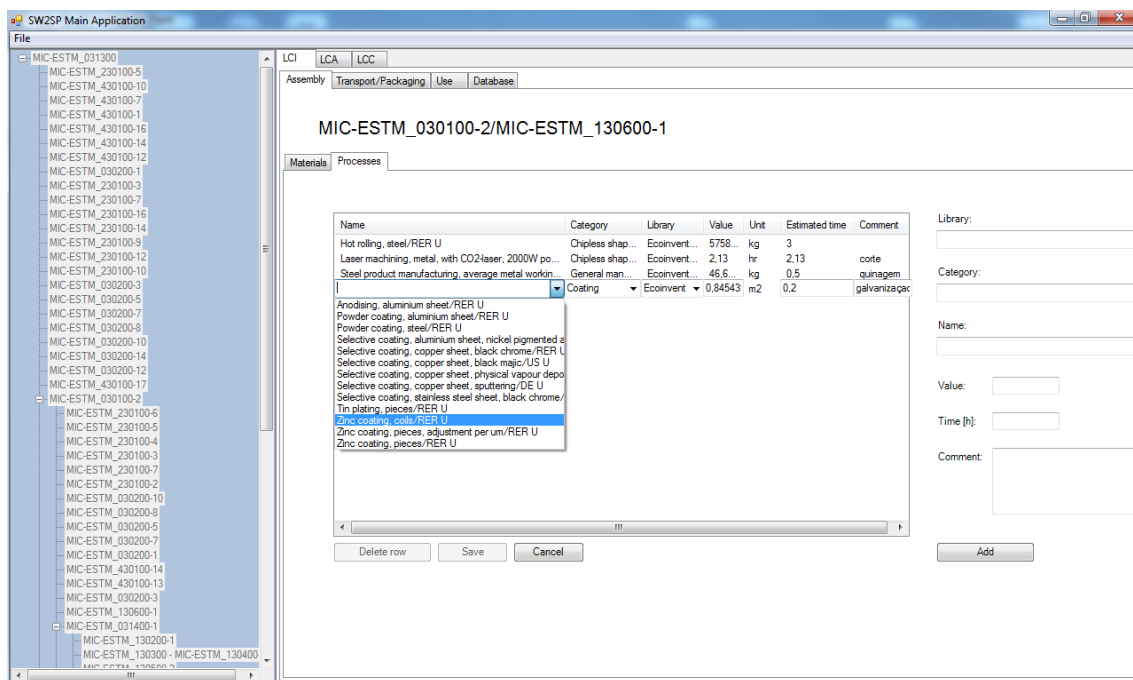


Figura 4.13: Interface da Aplicação Central - Tab de processos: Edição

4.1.3 Base de Dados

A aplicação desenvolvida utiliza duas bases de dados, como pode ser visto na Figura 4.1. Uma delas, é utilizada para armazenar as informações compiladas no add-in, a outra contém dados necessários para alimentar as aplicações.

4.1.3.1 Base de Dados LCA

Uma base de dados simples que vai ao encontro da necessidade de por um lado ter dados que permitam efectuar cálculos internos e, por outro, manter a coerência com os dados do Software de LCA. Estes dados são criados a partir das informações contidas nas bases de dados disponibilizadas pelo SimaPro, que correspondem ao inventário de dados de fluxos de entrada de recursos energéticos e ambientais e de saída de emissões e resíduos, relativos aos respectivos materiais e processos utilizados durante todo o ciclo-de-vida de um sistema produtivo e das quais se extraem informações relevantes, como o nome e unidade de materiais e processos, aos quais se acrescentam valores de densidade e preços.

Implementação

Materials		Processes	
PK	<u>id_material</u>	PK	<u>id_process</u>
	name unit waste_type library category density price_per_unit		name unit library category price_per_hour

Figura 4.14: Base de dados LCA

Atributo	Descrição
Tabela Materials	
id_material	Identificador do material
name	Nome do material. Copiado de uma base de dados LCI
unit	Unidade de medida do material.
waste_type	Resíduo produzido pelo material no seu fim de vida
library	Nome da base de dados de onde este material e respectiva informação foi copiado
category	Categoria geral do material, definida pelo utilizador ao adicionar o material a esta base de dados
density	Densidade, definida pelo utilizador ao adicionar o material a esta base de dados
price_per_unit	Preço por unidade do material, definido pelo utilizador ao adicionar o material a esta base de dados
Tabela Processes	
id_process	Identificador do processo
name	Nome do processo. Copiado de uma base de dados LCI
unit	Unidade do valor associado ao processo
library	Nome da base de dados de onde este processo e respectiva informação foi copiado
category	Categoria geral do processo, definida pelo utilizador ao adiciona-lo a esta base de dados
price_per_hour	Preço por hora de execução do processo

Tabela 4.1: Base de dados LCA

4.1.3.2 Base de Dados de Projecto

Esta base de dados tem como o objectivo de guardar as informações compiladas no add-in para serem posteriormente editadas na Aplicação Central e, guardar também estas alterações. A cada projecto CAD é associada uma base de dados onde são guardadas todas as suas informações.

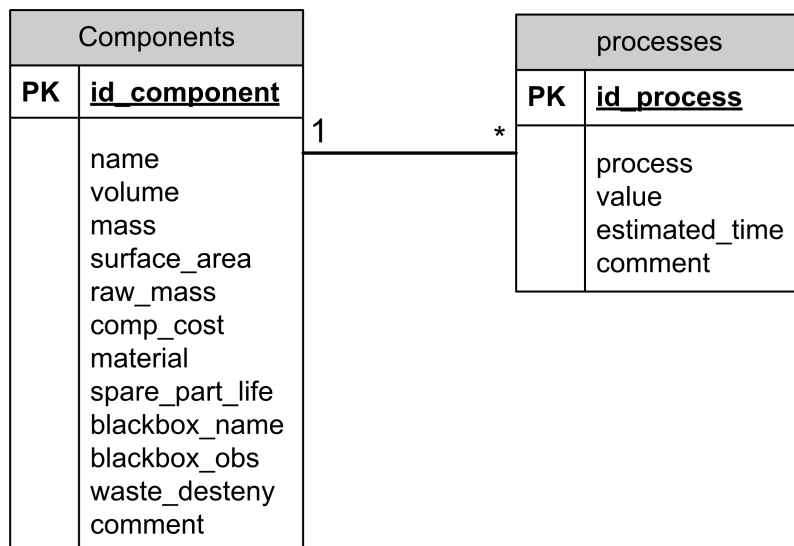


Figura 4.15: Base de dados de projecto

Atributo	Descrição
Tabela Component	
id_component	Identificador do componente
name	Nome do componente. Igual ao definido no software CAD
volume	Volume
mass	Massa
surface_area	Área de superfície
raw_mass	Massa da matéria prima
comp_cost	Custo do componente
material	Material
spare_part_life	Tempo de vida (null se não for spare part)
blackbox_name	Nome da blackbox (null se não for blackbox ou standard)
blackbox_obs	Observações relativas à blackbox (null se não for blackbox ou standard)
waste_destiny	Opção de fim de vida
comment	Comentário
Tabela Processes	
id_process	Identificador do processo

Implementação

id_component	Chave estrangeira. Identificador do componente a que está associado
name	Nome do processo. Copiado de uma base de dados LCI
value	Valor associado ao processo
estimated_time	Tempo estimado para a realização do processo
comment	Comentário
price_per_hour	Preço por hora de execução do processo

Tabela 4.2: Base de dados de projecto

4.2 Detelhes de Implementação

4.2.1 Add-in CAD

A arquitectura lógica do add-in CAD pode ser vista, mais ao promenor, na Figura 4.16.

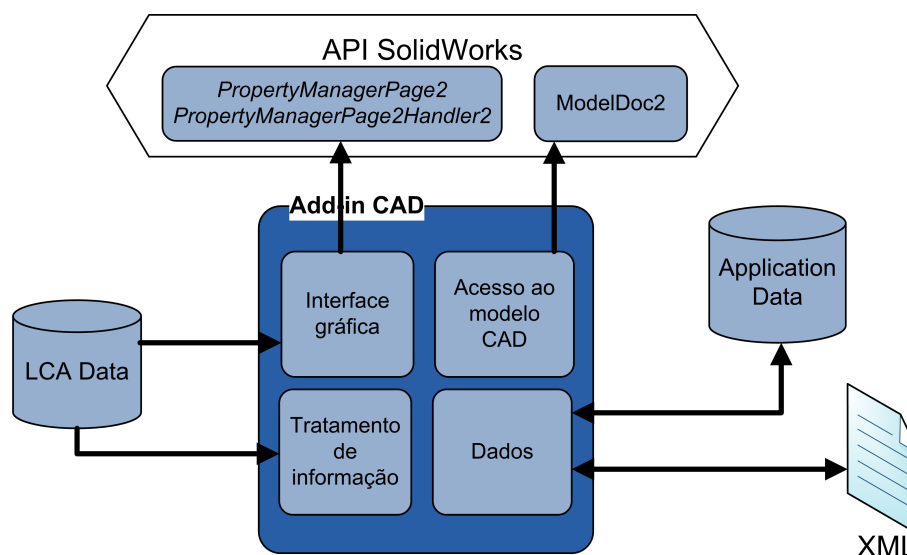


Figura 4.16: Arquitectura lógica do add-in CAD

4.2.1.1 Acesso ao Modelo CAD

Os modelos do SolidWorks são organizados numa árvore, em que cada nó representa um componente: a raiz, todo o *assembly*, as folhas são *part* e os restantes nós *subassemblies* (Figura 4.17). Neste sentido, é necessário percorrer todos os nós da árvore por forma a colocar em memória dados relativos a cada um deles, nomeadamente, nome e propriedades físicas, como volume e área. Esta operação é realizada usando um algoritmo recursivo que visita, em profundidade, todos nós da árvore (*tree-traversal* Figura 4.18) e, para cada um deles extrai esta informação.

A API do SolidWorks disponibiliza os recursos necessários para realizar esta operação. O objecto *ModelDoc2*, que disponibiliza variadas funções para interagir com os modelos [Sys09],

Implementação

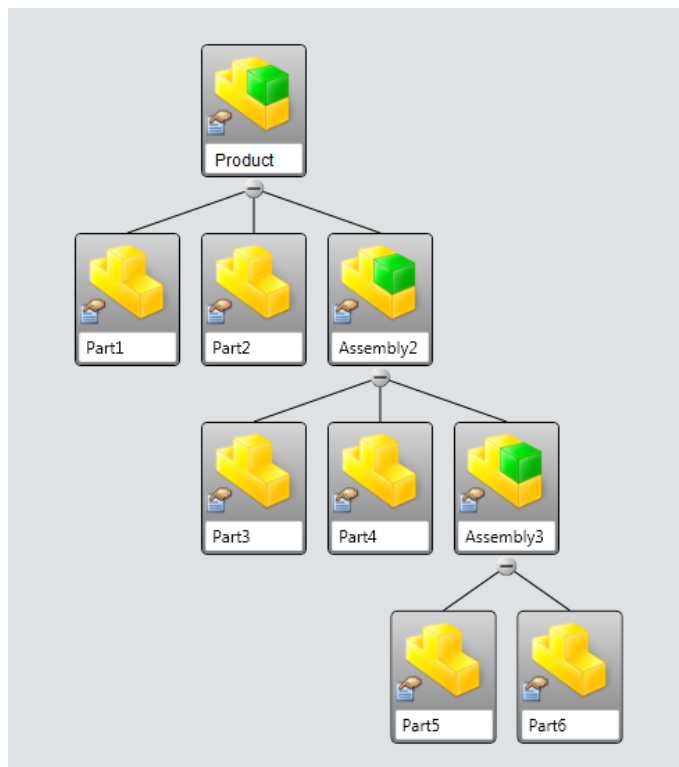


Figura 4.17: Exemplo de árvore de um modelo do SolidWorks

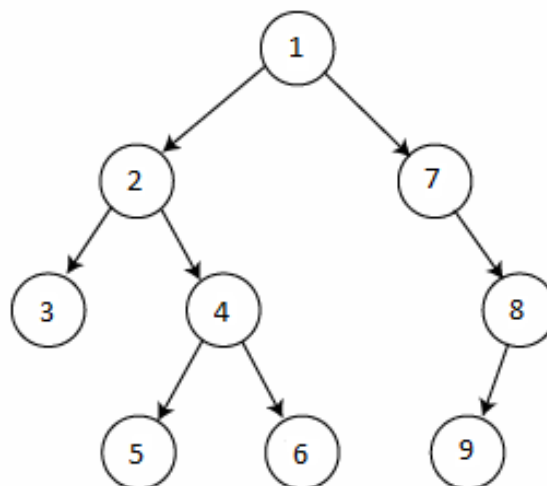


Figura 4.18: Ordem pela que os nós são visitados no tree-traversal em profundidade

permite aceder ao componente que está na raiz da árvore e, tendo este é possível, com a função *GetChildren()* da classe *Component2*, aceder à lista dos seus filhos e, o mesmo para cada um deste e assim sucessivamente acede-se a todos os componentes. Pertencente ao conjunto de funções de *ModelDoc2* é também a *getMassProperties()*, que devolve um array com as dimensões, volume, área e posição do componente.

A árvore é pesquisada sempre que o add-in é aberto, desta forma, o modelo pode sofrer alterações que as suas informações estão sempre actualizadas nas estruturas de dados do add-in. Quando o nó visitado corresponde a um componente novo, além das suas informações serem extraídas são inicializadas estruturas de dados para suportarem estes dados, quando o nó corresponde a um componente já existente as suas informações são actualizadas, no add-in, se assim for necessário e, no caso de componentes que estão em memória não forem encontrados na árvore, são removidos pois significa que também o foram do modelo CAD.

O facto do nome do componente ser relativo ao *assembly* em que está integrado (por exemplo, a *part* dentro do *assembly* chamar-se-á *assembly\part-1*), impede que seja feita uma correspondência directa entre os nomes dos componentes extraídos e os os nomes dos componentes em memória já que o add-in pode ser utilizado, no mesmo projecto, tanto com *assemblies*, como pode ser usado *part* a *part*. Desta forma, e apesar do nome que é guardado é o relativo ao *assembly* é sempre verificada esta particularidade, sendo sempre feita uma prospecção aos nomes quando o add-in é utilizado fora o *assembly* completo.

4.2.1.2 Tratamento de Informação

Muitos dados que vão sendo reunidos, quer sejam introduzidos pelo utilizador quer sejam extraídos do modelo, são alvo de manipulações e cálculos internos.

- Quando da selecção do material, a massa do componente é calculada: $\text{volume (extraído do CAD)} \times \text{densidade (presente na base de dados LCA)}$.
- O custo do componente vai sendo actualizado à medida que são acrescentados novos dados.
 $\text{Custo total} = \text{custo da matéria prima} + \text{custo de processos}$, onde $\text{Custo da matéria prima} = \text{raw mass} \times \text{custo por Kg (presente na base de dados)}$ e $\text{Custo de processos} = \sum (\text{tempo de processo} \times \text{custo por hora (presente na base de dados)})$
- Quando é inserido um processo de aparar (*chipping*), a massa de material aparado é subtraída à massa inicial (*raw mass*) do componente, isto por forma a que processos realizados posteriormente e que usem o valor da massa inicial lhes seja atribuída a massa actual.
- De acordo com o material escolhido também é associado ao componente qual o tipo de resíduos que irá produzir no seu fim de vida.

4.2.1.3 Interface Gráfica

A interface foi implementada através da classe *PropertyManagerPage2* da API do SolidWorks que permite criar uma página *PropertyManager* personalizada e interagir com esta. Esta classe disponibiliza todos os métodos necessários para a criação, adição de controlos e interacção com a página.

A *PropertyManagerPage2Handler2* implementa uma interface que permite a manipular o eventos enviados pela *PropertyManager* criada.

4.2.1.4 Dados

Os dados de inventário necessários para a realização de um LCA são guardados numa base de dados para posteriormente serem acedidos pela Aplicação Central, no entanto, outros dados auxiliares, gerados pelo add-in são necessários para que este funcione correctamente quando um projecto for carregado, para isso é gerado um ficheiro XML com esses dados que assegura essa persistência e é actualizado sempre que são realizadas alterações à base de dados.

São também guardadas imagens, em formato bitmap, de todos componentes editados no add-in.

4.2.2 Aplicação Central

4.2.2.1 Árvore do Produto

A representação da árvore do produto na Aplicação Central é feita usando as potencialidades da classe *TreeView*, disponibilizada pela *framework* .NET, para representação hierárquica de itens.

Como já referido anteriormente, os nomes dos componentes guardados na base de dados seguem sempre a norma de conter o nome dos nós “ancestrais”. Assim, analisando todos os nomes é possível reconstruir a árvore do produto, e cria-la nesta aplicação como uma *TreeView*.

4.2.2.2 Add-in ou Stand-Alone

A Aplicação Central pode ser utilizada, como um add-in, dentro do SolidWorks, inicializada a partir do menu onde também pode ser inicializado o add-in desenvolvido, ou pode ser executada independentemente, com um ficheiro .exe, sem a necessidade do SolidWorks estar aberto ou mesmo instalado.

4.3 Ferramentas

4.3.1 SolidWorks

O SolidWorks é um CAD 3D que utiliza a modelação paramétrica de sólidos, desenvolvido pela *Dassault Systèmes SolidWorks Corp* e é usado actualmente por mais de 3.4 milhões engenheiros e *designers* em mais de 100 mil empresas em todo o mundo.

O SolidWorks baseia-se em computação paramétrica, criando formas tridimensionais a partir de formas geométricas elementares.

Construção de um modelo no SolidWorks geralmente começa com um *sketch* 2D, que consiste em geometria tal como pontos, linhas, arcos, cónicas (excepto a hipérbole) e *splines*. As dimensões são adicionadas ao desenho para definir o tamanho e localização da geometria. As relações são usadas para definir atributos como tangência, paralelismo, perpendicularidade e concentricidade. A natureza paramétrica do SolidWorks significa que as dimensões e as relações definem a geometria, e não o contrário. As dimensões do desenho podem ser controladas independentemente, ou com relacionamentos com outros parâmetros, dentro ou fora do desenho.

SolidWorks foi pioneiro na capacidade de um utilizador poder percorrer o histórico da peça, a fim de fazer alterações, adicionar funcionalidades ou alterar a sequência em que as operações são executadas.

Numa montagem (*assembly*), os *mates* são análogos às relações de *sketch*. Da mesma forma que as relações de *sketch* definem as condições, tais como tangência, paralelismo e concentricidade em relação à geometria do *sketch*, os *mates* de *assemblies* definem relações equivalentes no que diz respeito às partes (*parts*) ou componentes individuais, permitindo a fácil construção de *assemblies*. Por fim, podem ser criados *drawings* a partir de peças ou conjuntos. São automaticamente gerados a partir do modelo sólido e notas, dimensões e tolerâncias podem ser facilmente adicionados ao desenho, conforme necessário.

O SolidWorks disponibiliza uma API, compatível com Visual Basic, C#, e C++, que contém centenas de funções que oferecem ao programador o acesso directo a funcionalidades do SolidWorks.

4.3.2 Framework .NET

A *framework* .NET, desenvolvida pela Microsoft, visa uma plataforma única para o desenvolvimento de sistemas e aplicações. Inclui uma grande biblioteca de soluções codificadas para problemas comuns de programação e uma máquina virtual que gere a execução de programas escritos especificamente para a *framework*. Suporta várias linguagens de programação de uma forma que permite a interoperabilidade, uma linguagem pode utilizar o código escrito noutras línguas.

A *framework* divide-se em dois componente [Lee09]:

Common Language Runtime (CLR) é o agente que gere as aplicações .NET em tempo de execução. Fornece serviços essenciais, como memória, threads e gestão dos recursos.

.NET Framework class library é um conjunto de classes reutilizáveis que fornecem todas as funcionalidades que as aplicações necessitam. Esta biblioteca permite desenvolver aplicações que vão desde aplicativos desktop Windows, aplicações web ASP.NET até aplicações para Windows Mobile.

4.3.3 C#

C# foi a linguagem de programação escolhida para o desenvolvimento deste projecto. Esta opção baseou-se em diferentes critérios. Primeiramente o facto de ser uma linguagem compatível com a API do SolidWorks, ser a linguagem compatível com essa API que têm mais potencialidades para desenvolvimento de interfaces gráficas, além de existir muita documentação e suporte, nomeadamente no seio da comunidade SolidWorks.

O C# é uma linguagem de programação orientada a objectos criada pela Microsoft especificamente para a sua plataforma .NET. Suporta todas as características de uma linguagem orientada a objectos como abstracção, encapsulamento, herança e polimorfismo características. O C# permite

aos programadores criar uma vasta gama de aplicações em Windows, Web, dispositivos móveis, etc construídas sobre a *framework* .NET. [Lee09, Tro07]

4.3.4 ADO.NET

ADO.NET é um componente da *framework* .NET que faz ligações a fontes de dados e permite obter e actualizar os seus dados. ADO.NET suporta uma variedade de diferentes fontes de dados, incluindo bases de dados relacionais como o Microsoft SQL Server, Oracle e Microsoft Access, bem como outras fontes de dados como o Microsoft Excel, Outlook e ficheiros de texto.

ADO.NET tem classes para para operações ligadas e deligadas. As classes “ligadas” permitem manipulação de dados em fontes de dados subjacentes. As classes “desligadas” permitem manipular os dados *offline*, obtidos e posteriormente sincronizados com a fonte de dados subjacente usando as classes “ligadas” [Ham08].

Estas classes estão localizadas na biblioteca *System.Data.[data provider]*. As classes “ligadas” são implementadas por *data providers*, sendo elas:

Connection Permite estabelecer uma ligação à base de dados.

Command Executa um comando sobre a base de dados, como uma declaração SQL ou como um *stored procedure*.

DataReader Representa um conjunto de dados em modo de leitura.

DataAdapter Permite popular um *DataSet* com um conjunto de dados da base de dados.

Esta abordagem proporciona a vantagem de que cada *data provider* implemente as suas classes, podendo optimiza-las tendo em conta o seu funcionamento interno.

4.3.5 SQL Server Compact

Microsoft SQL Server Compact (SQL CE) é uma base de dados relacional ideal para ser embebida em aplicações móveis e desktop. SQL Server Compact 3.5 fornece aos programadores um modelo de programação comum com outras edições do SQL Server [Corc].

As suas desvantagens são o não suporte de *Views*, *Stored Procedures* ou *Triggers* e o uso de apenas um subconjunto de instruções SQL, não permitindo por exemplo `SELECT ... FROM (SELECT ...)`.

Apesar das limitações descritas esta tecnologia foi escolhida pois, além das bases de dados deste projecto serem muito simples o que faz com que essas limitações não sejam problemáticas, o facto do SQL Server Compact oferecer um armazenamento de dados robusto, um processador de consulta optimizada e confiável, conectividade escalável, ser gratuito e de livre distribuição e as suas bases de dados residirem num único ficheiro (*.sdf*) podendo assim mais facilmente ser associado ao ficheiro CAD, foram factores que contribuíram para a sua escolha.

4.4 Processo de Desenvolvimento de Software

O processo de desenvolvimento de software seguiu uma metodologia de prototipagem evolutiva, um processo iterativo, onde inicialmente os clientes identificam os contornos do que se espera que seja o sistema no final, e a partir daqui são realizadas iterações onde vão sendo acrescentadas funcionalidades até se atingir o sistema final (Figura 4.19).

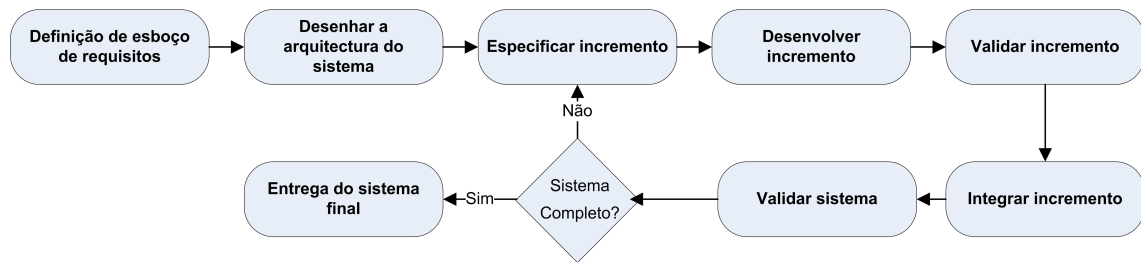


Figura 4.19: Processo de desenvolvimento incremental

Na prototipagem evolutiva é desenvolvido protótipo inicial robusto e estruturado, que é sucessivamente refinado de acordo com comentários dos diversos *stakeholders* até se obter o sistema final (Figura 4.20). O protótipo começa por ser simples obedecendo aos requisitos fundamentais que estejam completamente definidos e com maior prioridade, deixando para incrementos posteriores requisitos mais vagos [Som07]. A prototipagem evolutiva produz sinais estáveis e visíveis de progresso e é especialmente útil quando os requisitos mudam rapidamente, quando o cliente não está disposto a comprometer-se a um conjunto de requisitos ou quando a aplicação não está totalmente definida nem o seu âmbito é totalmente dominado [McC96].

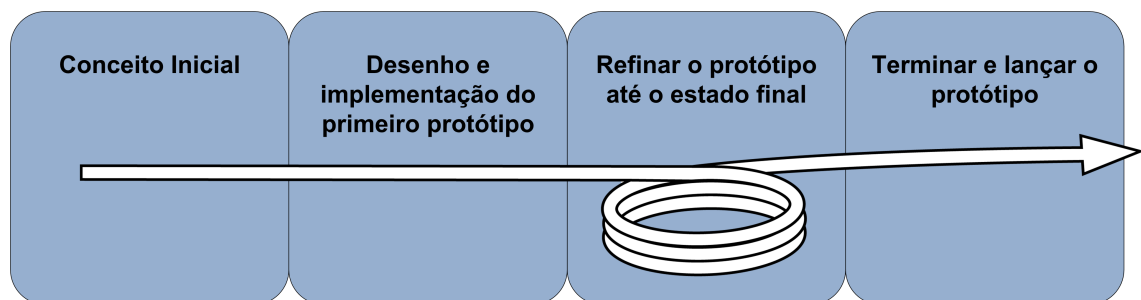


Figura 4.20: Prototipagem evolutiva [McC96]

As vantagens da aplicação deste processo são [SS97, McC96]:

- O envolvimento dos clientes no processo de desenvolvimento poderá traduzir-se que o sistema vá mais facilmente ao encontro das suas necessidades.
- Os primeiros incrementos podem ser usados como forma de refinar os requisitos do sistema e criar novos.

Implementação

- A utilização dos protótipos é uma forma de validação de requisitos, possibilitando a descoberta de erros ou inconsistências e permitindo que os clientes possam fazer sugestões de melhorias.
- Aumento da moral e das expectativas dos utilizadores finais, clientes e programadores, pois o progresso é visível;
- Diminuição do tamanho geral do código devido a melhor *design* e mais reutilização.

Para que o processo de prototipagem evolutiva origine um sistema robusto é necessário um planeamento e um desenvolvimento cuidado desde o início. Visto o protótipo dar origem ao sistema final, o seu desenvolvimento deve-se reger pelos mesmos critérios de qualidade e organização de qualquer outro sistema e que conceitos como manutenção, performance, fiabilidade devem ser uma preocupação desde a primeira iteração [Som07].

Capítulo 5

Resultados

5.1 Validação

5.1.1 Fiabilidade de Dados

A validação das ferramentas desenvolvidas foi feita a partir do estudo de um modelo de um painel de informações de auto-estrada (Figuras 5.1 e 5.2). Foi escolhido este produto porque, não tendo a elevada complexidade de uma quinadora ou outra máquina ferramenta, tem uma diversidade de componentes e de particularidades que podem, de forma efectiva, testar as funcionalidades desta aplicação, o seu rigor e utilidade.



Figura 5.1: Painel de informações de auto-estrada

Resultados

Um LCA foi, numa primeira fase, realizado ao produto usando as metodologias convencionais e, posteriormente, foi realizado utilizando estas ferramentas, por forma a poder comparar resultados.

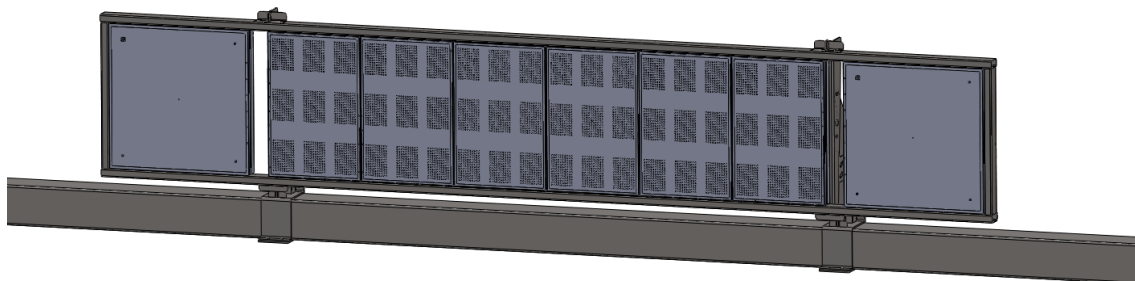


Figura 5.2: Modelo CAD do Painel de informações de auto-estrada

Observando os valores reunidos para a criação do Inventário de Ciclo-de-Vida nos dois estudos, que podem ser consultados no Anexo B, pode-se concluir que os valores obtidos usando as ferramentas desenvolvidas são, em todos os casos, iguais aos valores obtidos pela forma convencional, variando somente em número de casas decimais.

Também de notar que, relativamente a *black boxes* (ver 3.1.3.3), estas são reconhecidos automaticamente pelo add-in sendo marcados por defeito como tal (Figura 5.3).

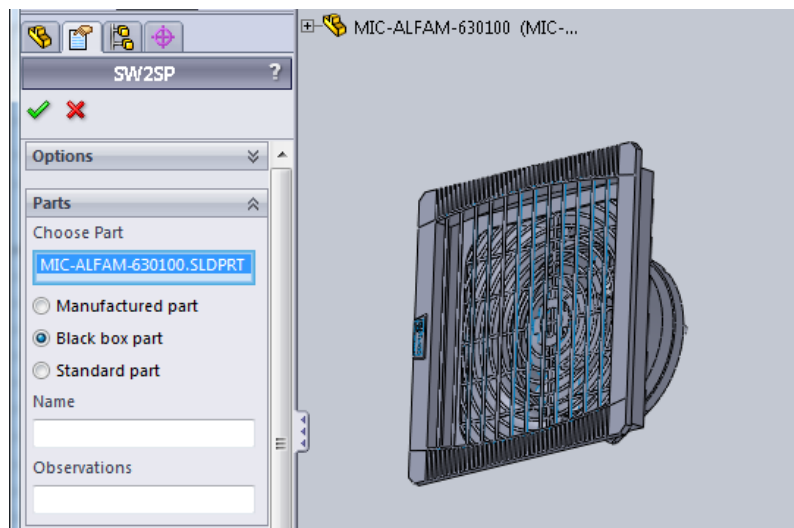


Figura 5.3: Black Box - Ventilador da porta do painel de informações

5.1.2 Utilidade

Além da fiabilidade dos dados, acima referida, é também necessário avaliar a utilidade desta aplicação e que vantagens advêm da sua aplicação em relação ao método convencional de realização de LCA.

Até agora, no INEGI, a compilação do LCI era realizada manualmente, sendo que, para cada componente do modelo CAD era necessário visualizar a opção *mass properties* para ter acesso aos valores de volume e área de superfície, era necessário calcular a massa de acordo com a densidade do material escolhido e, para cada um dos processos de fabrico desse componente, calcular o seu valor, cálculo este muitas vezes envolvendo operações repetitivas como, por exemplo, visualizar, um a um, o comprimento de várias arestas, ou a área de várias superfícies para poder calcular os seus somatório. Sendo todos estes valores guardados numa folha de cálculo, para posteriormente serem introduzidos manualmente no software de CAD. Este processo, é demorado, moroso e passível de erro humano.

Com a utilização desta aplicação, minimiza-se o erro humano pois a automatização da maioria das tarefas reduz o âmbito de situações onde possa ser possível cometer erros.

Relativamente ao tempo despendido, o facto dos valores serem extraídos do modelo CAD e processados de forma transparente para o utilizador, de todos os cálculos serem feitos internamente, dos dados serem guardados automaticamente já formatados para serem usados no LCA e de serem visualizados e editados de forma simples e rápida na Aplicação Central faz com que a utilização desta aplicação seja um factor de aumento de produtividade, baixando consideravelmente o tempo para a realização da fase de inventário de um LCA. Na Tabela B.4, podem ser vistos os dados médios relativos à catalogação e classificação de componentes, os quais compravam esta tendência de uma redução acentuada no tempo, que pode chegar aos 70% por componente caso sejam considerados apenas dados geométricos e cerca de 40% se forem adicionados processos. Além destes ganhos, ainda podem ser consideradas as poupanças relativas ao trabalho manual de introduzir todos estes dados no software de LCA que deixará de ser necessário.

5.2 Usabilidade

Sendo esta uma aplicação cujo objectivo é ser usada paralelamente à concepção de produtos em software CAD é de grande importância que não perturbe os normais processos de utilização destes programas, sob pena de perda de produtividade. Assim espera-se que as interfaces gráficas desenvolvidas sejam facilmente usadas, intuitivas e que a sua curva de aprendizagem seja curta.

No sentido de comprovar a usabilidade do sistema e encontrar pontos de possível melhoramento, foram realizados alguns simples testes, que consistiram na observação de potenciais utilizadores a realizarem determinadas tarefas.

Da realização destes testes foi possível verificar que existe uma boa integração do add-in com o CAD, sem que nenhum problema de grande escala afectasse a utilização da ferramenta, não obstante, foram identificados alguns pontos que podem ser aprimorados tendo em vista melhorar a experiência de utilização e evitar erros:

- Obrigatoriedade de seleccionar *assemblies* e *subassemblies* na árvore de produto, sendo impossível realizar a selecção directamente no modelo, como acontece com *parts*.

- Nas ferramentas de cálculo que envolvem a selecção de superfícies ou arestas o facto destas depois de seleccionadas não serem marcadas como tal é passível de causar erros, sobretudo em componentes com alguma complexidade.
- A necessidade de fechar o add-in para realizar operações que necessitem da página *PropertyManager* do SolidWorks leva à perda adicional de tempo.

A partir dos problemas referidos atrás foram tomadas medidas que permitiram solucionar alguns deles, nomeadamente:

- Nas ferramentas que envolvam a selecção de vértices, estes são realçados quando seleccionados e, no caso de serem desseleccionados, voltam à sua cor normal, permitindo assim ao utilizador ter a noção clara de que vértices estão a ser equacionados no cálculo.
- No que respeita à questão do fecho do add-in para a realização de algumas operações de CAD, esta necessidade mantém-se, no entanto não é necessário gravar ou carregar a informação quando o add-in é fechado e reaberto neste termos, o que minimiza em grande escala os efeitos negativos deste problema.

5.3 Comparação com Soluções Existentes

Como descrito na secção 2.8.1 existem algumas aplicações que, de alguma forma, integram CAD e LCA. No entanto, a presente aplicação acrescenta funcionalidades às já oferecidas, algumas das quais representam uma melhoria efectiva, quer em termos de rigor quer em termos de produtividade, face ao que já existe.

Esta é a única aplicação que permitirá o uso de um software de LCA, usufruindo assim, das suas potencialidades e rigor no que diz respeito à realização do LCA e interpretação dos seus resultados, bem como do fácil acesso às diversas bases de dados de inventário que o SimaPro disponibiliza, permitindo desta forma ter uma análise ambiental o mais completa possível.

Na maioria dos casos a integração com o CAD é realizada através de importação de dados, feita posteriormente à modelação. A integração na interface do CAD é importante, no sentido que exista uma acção paralela e consertada entre a modelação CAD e o LCA. No entanto, das soluções analisadas apenas o *SolidWorks Sustainability* (ver 2.8.1.1) dispõe de uma real integração na interface do software CAD. Outras duas soluções (*Fabes-Ecoinnova* 2.8.1.3 e *ecologiCAD* 2.8.1.2) advogam a possibilidade de desenvolverem esta funcionalidade futuramente. Este interesse mostra que esta integração é, de facto, desejada e útil.

Comparando a interface implementada com a única disponível, observa-se que a versão do *SolidWorks Sustainability* é muito mais simplificada, limitando as informações que podem ser introduzidas a materiais e transporte, ao contrário desta a interface do Add-in CAD abrange mais áreas, nomeadamente processos de fabrico e fim de vida.

Funcionalidades que permitam agilizar a compilação do LCI não vão muito além da extracção de valores do CAD (por exemplo volume), o *Sustainable Minds* 2.8.1.4 vai um pouco além, oferecendo uma ferramenta para mapear os materiais usados no CAD com os materiais dos suas bases

Resultados

de dados, sendo todavia este um processo quase todo manual. O Add-in implementado disponibiliza ferramentas para obter valores que não podem ser automaticamente extraídos do modelo CAD, pois necessitam de cálculos intermédios (por exemplo, massa da matéria prima, valores de processos de fabrico).

É mencionada como uma funcionalidade futura do *ecologiCAD* a integração dos custos de ciclo-de-vida como um indicador adicional. A implementação aqui descrita já permite um cálculo de alguns desses custos.

O módulo Aplicação Central e a possibilidade deste ser usado como uma aplicação independente permite a realização do LCA mesmo não tendo o software CAD. O *SolidWorks Sustainability*, sendo apenas um add-in impossibilita isso.

Resultados

Capítulo 6

Conclusões

6.1 Trabalho Desenvolvido

A sociedade e os governos mundiais estão, cada vez mais, empenhados em identificar, analisar e pôr em prática estratégias de desenvolvimento sustentável no quadro do risco crescente de alterações climáticas. A indústria está a tomar medidas por forma a enquadrar-se nas implicações normativas destas políticas mas, também, para retirar vantagens competitivas da aplicação destes conceitos nos seus produtos. É neste contexto que surge o Ecodesign, em que se procura melhorar o desempenho ambiental dos produtos actuando ainda na fase de projecto, aplicando metodologias que avaliem os impactos no ambiente que o produto irá causar durante todo o seu ciclo-de-vida.

O trabalho realizado consistiu no desenvolvimento de ferramentas que integrem uma dessas metodologias, o LCA, que é globalmente aceite como a mais efectiva na realização da análise de ciclo-de-vida, com software de CAD, largamente usados na indústria, e assim, agilizar a forma como esta análise ambiental é realizada, permitindo que seja integrada no processo de concepção de produto, sem o prejudicar, e assim dotar a indústria de uma ferramenta que permita a criação de produtos mais ecológicos.

Esta ferramenta permite que, em paralelo à modelação de produtos no software CAD, sejam reunidos dados a ser usados no LCA, dados estes que podem ser extraídos de forma automática do modelo tridimensional ou introduzidos pelo projectista na interface do software CAD. Foram criadas ferramentas complementares que permitem a realização de diversos cálculos auxiliares à compilação deste inventário e à normalização de todos os seus dados, por forma estarem em conformidade com o software que realiza o LCA, para o qual irão ser exportados.

Foram então, implementados dois módulos, o primeiro, um add-in para o software CAD, que permite toda a interacção e extracção de informação com o modelo do produto, bem como uma interface, integrada na interface do CAD que permite a introdução de dados complementares e, um segundo módulo, denominado de Aplicação Central, que permite a fácil consulta e edição de todos estes dados, sendo estas funcionalidades parte integrante de um sistema que possibilita que

estes dados e outros aí adicionados sejam enviados a um software de LCA que realiza a análise e devolve os resultados.

Esta é a primeira aplicação que há referência que visa a integração de software CAD, e a utilização efectiva da sua interface, com um software LCA, usufruindo da combinação das grandes vantagens de cada um deles: a utilização massiva pela indústria dos software CAD e a importância dos dados sobre o produto contidos nos seus modelos e os diversos recursos e rigor das análises realizadas pelos software LCA.

A grande mais-valia que provém da utilização da ferramenta desenvolvida é o claro e comprovado aumento da produtividade comparativamente com a forma convencional de aplicação do LCA durante a fase de concepção de produto. Um processo que era complicado, lento e susceptível de erro humano é agora, utilizando as potencialidades desta ferramenta, muito mais ágil, automatizado, rápido e fiável, diminuindo o tempo de compilação do LCI em cerca de 40%. Podendo assim, aumentar a produtividade das empresas que já aplicam metodologias de Ecodesign e fazer com que outras, que não o fazem devido às desvantagens e dificuldades da sua utilização, incorporem estas metodologias e assim, consequentemente melhorem o desempenho ambiental dos seus produtos.

6.2 Contribuições

O trabalho desenvolvido ultrapassa muitas das barreiras que levavam à resistência da indústria à aplicação do LCA nas fases iniciais do ciclo-de-vida dos seus produtos, podendo assim dar um forte contributo para massificação do Ecodesign e a sua perfeita integração na concepção de produtos.

A automatização de muitos dos procedimentos ligados à morosa e extensa compilação do LCI faz com que esta seja, agora, realizada de uma forma muito rápida e fácil por forma a que processo de desenvolvimento de produto permaneça fundamentalmente inalterado mas tirando partido da aplicação do LCA, sendo enriquecido com detalhes ambientais tendo, assim, importantes orientações para fundamentar decisões das equipas de desenvolvimento de produtos tendo em vista a optimização ambiental do produto, minimizando todos os impactos que este poderá vir a causar ao ambiente.

6.3 Trabalho Futuro

O passo seguinte é realização de testes mais extensivos e abrangentes ao software produzido, por forma a garantir a sua qualidade e procurar eventuais defeitos por forma a corrigi-los efectivamente.

As *black boxes* são, ainda, tratadas muito superficialmente, sendo de esperar que à medida que sejam recolhidos mais dados sobre estas possa ser construída uma base de dados que contenha

Conclusões

diversos tipos de *black boxes* e, associado a cada um, valores de referência de impactos ambientais, para que assim o projectista possa identificar um componente no add-in como sendo uma *black box* de uma determinada tipologia, sendo-lhe automaticamente atribuídos valores de LCI correspondentes.

Outro tipo de informações que poderão ser consideradas são as relativas ao transporte de componentes, não o transporte do produto final até ao consumidor, mas o transporte de peças ou matérias primas até ao local de produção. A inserção desta informação poderá ser realizada no add-in, associando a componentes, a que isto se aplique, distâncias percorridas e tipos de meios de transporte utilizados.

Seria interessante estudar a possibilidade de alargar esta ferramenta a outros software de CAD.

Perspectivam-se, num futuro próximo, várias evoluções relativas ao Ecodesign, suas aplicações, ferramentas e metodologias que deverão ser acompanhadas e tidas em conta como linhas orientadoras de futuros desenvolvimentos.

Conclusões

Referências

- [Ade01] Ademe. Eco-design what does it mean?, 2001.
- [AKCC08] J. Abad-Kelly, D. Cebrián e V. Chulvi. An ontology-based approach to integrating life cycle analysis and computer aided design. 2008.
- [All94] B.R. Allenby. *Integrating environment and technology: Design for environment, in The Greening of Industrial Ecosystems*. National Academy Press, 1994.
- [Alm] José António dos Santos Almacinha. A importância do desenho de construção mecânica e da concepção e fabrico assistidos por computador ao nível da indústria metalomecânica.
- [Ash09] Michael F. Ashby. *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*. Elsevier Inc, 2009.
- [Aut] Autodesk. Sustainable design for manufacturing. <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=14830591>, Acedido em Junho de 2010 .
- [BB97] S.B. Billatos e N.A. Basaly. *Green Technology and Design for the Environment*. Taylor and Francis Group, 1997.
- [BH06] Sophie Byggeth e Elisabeth Hochschorner. Handling trade-offs in ecodesign tools for sustainable product development and procurement. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16):1420 – 1430, 2006. EcoDesign: What's happening?
- [Bla91] I. Black. Integrated product development: turning full circle with cad. In *Design Management Environments in CAD, IEEE Colloquium on*, 1991.
- [Bok06] Casper Boks. The soft side of ecodesign. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16):1346 – 1356, 2006. EcoDesign: What's happening?
- [CDP06] Federico Cappelli, Massimo Delogu e Marco Pierini. Integration of lca and ecodesign guideline in a virtual cad framework. In *13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, 2006.
- [CF06] J. Cooper e J. Fava. The life cycle assessment practitioners survey: Assessment methods for evolutionary and revolutionary electronic products. In *Electronics and the Environment, 2006. Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on*, pages 1 –5, 2006.
- [CFGK03] Andreas Ciroth, Günter Fleischer, Karin Gerner e Heiko Kunst. A new approach for a modular valuation of lcas. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(5):273–282, 2003.

REFERÊNCIAS

- [Con94] F Consoli. Guidelines for life-cycle assessment: A code of practice. *Environmental Science and Pollution Research*, 1(1), 1994.
- [Cora] Dassault Systèmes SolidWorks Corp. Solidworks sustainability. <http://www.solidworks.com/sustainability/>, *Acedido em Junho de 2010*.
- [Corb] Dassault Systèmes SolidWorks Corp. Sustainabilityxpress. <http://labs.solidworks.com/Products/Product.aspx?name=sustainability>, *Acedido em Junho de 2010*.
- [Corc] Microsoft Corporation. Overview of sql server compact. [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms172448\(v=SQL.100\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms172448(v=SQL.100).aspx), *Acedido em Junho de 2010*.
- [CT01] Martin Charter e Ursula Tischner. *Sustainable solutions: developing products and services for the future*. Greenleaf Publishing, 2001.
- [CTGV09] David Cebrián-Tarrasón, Daniel Garraín e Rosario Vidal. Acv libre:la utilización del elcd en la fase de diseño. In *XIII Congreso de Ingenieria de Proyectos (AEIPRO) Badajoz*, 2009.
- [Cur06] Mary Ann Curran. *Life Cycle Assessment: Principles and Prattice*. Scientific Applications International Corporation, 2006.
- [DD04] Wim Dewulf e Joost R. Duflout. Estimating environmental impact scores and related uncertainties using the eco-pas methodology. 2004.
- [dQ06] Instituto Português da Qualidade. Gestão ambiental. avaliação de ciclo de vida princípios e enquadramento (iso 14040:2006), 2006.
- [Eur] União Europeia. European platform on lca. <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/index.vm>, *Acedido em Junho de 2010*.
- [Eur05] União Europeia. Directive 2005/32/ec of the european parliament and of the council of 6 july 2005 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products and amending council directive 92/42/eec and directives 96/57/ec and 2000/55/ec of the european parliament and of the council. *Jornal Oficial da União Europeia*, 2005.
- [Eur09] União Europeia. Directive 2009/125/ec of the european parliament and of the council of 21 october 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. *Jornal Oficial da União Europeia*, 2009.
- [FL05] Alastair Fuad-Luke. *The Eco-Design Handbook: A Complete Sourcebook for the Home and Office*. Thames and Hudson, 2005.
- [GdHH93] J. B. Guinée, H. A. Udo de Haes e G. Huppes. Quantitative life cycle assessment of products : 1:goal definition and inventory. *Journal of Cleaner Production*, 1(1):3 – 13, 1993.
- [GJM02] Farin G., Hoschek J. e Kim M. *Handbook of Computer Aided Geometric Design*. Elsevier, 2002.

REFERÊNCIAS

- [GRR06] Fabio Giudice, Guido La Rosa e Antonino Risitano. *Product design for the environment: a life cycle approach*. Catania, Itália, 2006.
- [Ham08] Bill Hamilton. *ADO.NET 3.5 Cookbook, 2nd Edition*. O'Reilly, 2008.
- [HBWS98] R.G Hunt, T.K. Boguski, K Weitz e A. Sharma. Case studies examining lca streamlining techniques. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 3, 1998.
- [IEE98] IEEE. Ieee recommended practice for software requirements specifications, 1998.
- [IEE06] IEEE. Overview - energy using products directive (eup). In *Product Safety Engineering Society Symposium, 2006 IEEE*, pages 4 –4, 2006.
- [ITI08] Masato Inoue, Yumiko Takashima e Haruo Ishikawal. Evaluation of environmental loads based on 3d-cad. In *Collaborative Product and Service Life Cycle Management for a Sustainable World, Proceedings of the 15th ISPE International Conference on Concurrent Engineering (CE2008)*, 2008.
- [IUW80] IUCN, UNEP e WWF. World conservation strategy: Living resource conservation for sustainable development, 1980.
- [IY09] M. Ishioka e K. Yasuda. Product development concept with product sustainability. In *Management of Engineering Technology, 2009. PICMET 2009. Portland International Conference on*, 2009.
- [KE08] Fran Kurk e Patrick Eagan. The value of adding design-for-the-environment to pollution prevention assistance options. *Journal of Cleaner Production*, 16(6):722 – 726, 2008. Advancing Pollution Prevention and Cleaner Production: USA's Contribution.
- [Ker97] H. T. Kerry. Planejamento de processo automático para peças paramétricas. Master's thesis, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1997.
- [KL06] Reine Karlsson e Conrad Luttrupp. Ecodesign: what's happening? an overview of the subject area of eco design and of the papers in this special issue. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16):1291 – 1298, 2006. EcoDesign: What's happening?
- [Kor04] Jouni Korhonen. Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology. *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10):809 – 823, 2004. Applications of Industrial Ecology.
- [Lee09] Wei-Meng Lee. *C# 2008 Programmer's Reference*. Wiley Publishing, 2009.
- [Lei] Sebastian Leibrecht. ecologicad. <http://www.leibrecht.org/>, Acedido em Junho de 2010 .
- [Lei05] Sebastian Leibrecht. Fundamental principles for cad-based ecological assessments. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(10), 2005.
- [LLL03] Jessica Lagerstedt, Conrad Luttrupp e Lars-Gunnar Lindfors. Functional priorities in lca and design for environment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 8, 2003.
- [Lof05] V. Lofthouse. Ecodesign tools for designers: defining the requirements. *Journal of Cleaner Production*, 14, 2005.

REFERÊNCIAS

- [MA07] Katharina Melk e Reiner Anderl. A generic framework for life cycle applications. In *3rd International Conference on Life Cycle Management, Zurich*, 2007.
- [Mal99] Tomas Maldonado. *Design Industrial*. Edições 70, 1999.
- [Mas03] D. Masera. Eco-design a key factor for micro and small enterprise development. In *Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2003. EcoDesign '03. 2003 3rd International Symposium on*, pages 544 – 551, 2003.
- [MBL⁺07] D. Millet, L. Bistagnino, C. Lanzavecchia, R. Camous e Tiiu Poldma. Does the potential of the use of lca match the design team needs? *Journal of Cleaner Production*, 15(4):335 – 346, 2007.
- [MC01] Teresa M. Mata e Carlos A. V. Costa. Life cycle assessment of different reuse percentages for glass beer bottles. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6(5):307–319, 2001.
- [McC96] Steve McConnell. *Rapid development : taming wild software schedules*. Microsoft Press, 1996.
- [MDFA07] Nora Markosky, Julia Dose, Gunter Fleischner e Robert Ackermann. Challenges of data transfer between cad- and lca software tools. In *3rd International Conference on Life Cycle Management, Zurich*, 2007.
- [MSK98] A. Molina, J.M. Sánchez, e A. Kusiak. *Handbook of Life Cycle Engineering: Concepts, Models and Technologies*. Kluwer Academic Publisher, 1998.
- [ohspte00] Ministry of housing spatial planning e the environment. *The Eco-indicator 99: Manual for Designers*. Holanda, 2000.
- [OKMG03] Harald E. Otto, Fumihiko Kimura, Ferruccio Mandorli e Michele Germani. Integration of cad models with lca. In *Proceedings of EcoDesign2003: Third International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Tokyo, Japan*, 2003.
- [OotTA92] Congress of the United States Office of the Technology Assessment. Green products by design: Choices for a cleaner environmen, 1992.
- [PBF07] Stéphane Le Pochat, Gwenola Bertoluci e Daniel Froelich. Integrating ecodesign by conducting changes in smes. *Journal of Cleaner Production*, 15(7):671 – 680, 2007.
- [PRR09] J. P. Pereira, A. R. Reis e A. B. Rocha. An innovative framework for integration of ecodesign practices in the product development process of machine tools. *Proceedings of EcoDesign2009 - 6th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, Hokkaido, Japan*, 2009.
- [PRRO10] J. P. Pereira, A. R. Reis, A. B. Rocha e Marta I. Oliveira. Modelling of mechanical systems for environmental impact assessment in design stage. In *Proceedings of the ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis ESDA2010, Istanbul, Turkey*, 2010.
- [Qua07] Ewald Quak. *Geometric Modelling, Numerical Simulation, and Optimization: Applied Mathematics at SINTEF*, chapter Geometric Modelling. Springer, 2007.

REFERÊNCIAS

- [Reb02] G Rebitzer. *Cost management in supply chains*, chapter Integrating life cycle costing and life cycle assessment for managing costs and environmental impacts in supply chains. Physica-Verlag, 2002.
- [REF⁺04] G. Rebitzer, T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris, T. Rydberg, W. P. Schmidt, S. Suh, B. P. Weidema e D. W. Pennington. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, 30(5):701 – 720, 2004.
- [RMB01] T. Roche, E. Man e J. Browne. The development of a cad integrated dfe workbench software tool. In *Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing, 2001. Proceedings EcoDesign 2001: Second International Symposium on*, 2001.
- [Sha01] J.J. Shah. *Geometric modelling: theoretical and computational basis towards advanced CAD Applications*, chapter Designing with Parametric CAD: Classification and comparison of construction techniques. Kluwer Academic, 2001.
- [SHS05] K. Schischke, M. Hagelucken e G Steffenhagen. Introdução às estratégias de ecodesign – porquê e como, fraunhofer institute zuverlässigkeit und mikrointegration, 2005.
- [SK98] M. Sodhi e W.A. Knight. Product design for disassembly and bulk recycling. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 47(1):115 – 118, 1998.
- [SM] LLC Sustainable Minds. Sustainable minds. www.sustainableminds.com, Acessado em Junho de 2010 .
- [Som07] Ian Sommerville. *Software Engineering* 8. Pearson, 2007.
- [SS97] Ian Sommerville e Pete Sawyer. *Requirement Engineering*. Wiley Publishing, 1997.
- [Sys09] Dassault Systéms. *SolidWorks 2009 API Fundamentals*. 2009.
- [TB95] Graedel TE e Allenby BR. *Industrial ecology*. Prentice Hall, 1995.
- [TC99] Joel Ann Todd e Mary Ann Curran. Streamlined life-cycle assessment: A final report from the setac north america streamlined lca workgroup. 1999. Advancing Pollution Prevention and Cleaner Production: USA's Contribution.
- [TK06] Johan Tingström e Reine Karlsson. The relationship between environmental analyses and the dialogue process in product development. *Journal of Cleaner Production*, 14(15-16):1409 – 1419, 2006. EcoDesign: What's happening?
- [Tro07] Andrew Troelsen. *Pro C# 2008 and the .NET 3.5 Platform*. Apress, 2007.
- [Ull92] DG Ullman. *The mechanical design process*. McGraw-Hill Inc, 1992.
- [UNC92] UNCED. Rio declaration on environment and development, 1992.
- [UNC96] UNCSD. Indicators of sustainable development: framework and methodologies, 1996.
- [vHC02] C. van Hemel e J. Cramer. Barriers and stimuli for ecodesign in smes. *Journal of Cleaner Production*, 10(5):439 – 453, 2002.

REFERÊNCIAS

- [Vic72] Papanek Victor. *Design for the real world: human ecology and social change*. Pantheon Books, 1972.
- [VM08] Carlo Vezzoli e Ezio Manzini. *Design for Environmental Sustainability*. Springer, 2008.
- [WCE87] WCED. Our common future, 1987.
- [ZH04] Xu Zu e Hong-Zhong Huang. Research on product development process modeling. In *Computer Supported Cooperative Work in Design, 2004. The 8th International Conference on*, volume 2, pages 33 – 38 Vol.2, 2004.

Anexo A

Métodos Simplificados de LCA

Alguns dos métodos simplificados de LCA:

Ecopoint; Ecopoint 1997 (BUWAL, Suíça) Método de escassez de meio ambiente, um dos primeiros métodos de avaliação a ser desenvolvido. Permite uma ponderação comparativa e agregação de várias intervenções ambientais através da utilização de “eco-fatores” baseados em resultados do LCI [[CFGK03](#)].

CML 1992; CML 2001 (University of Leiden, Holanda) Método de avaliação que restringe a modelação quantitativa às primeiras fases na cadeia de causa-efeito e agrupa os resultados do LCI em categorias como alterações climáticas, ecotoxicidade, ect.

Ecopoint; Ecopoint 1997 (BUWAL, Suíça) Método de escassez de meio ambiente, um dos primeiros métodos de avaliação a ser desenvolvido. Permite uma ponderação comparativa e agregação de várias intervenções ambientais através da utilização de “eco-fatores” baseados em resultados do LCI [[CFGK03](#)].

EDIP (Technical University of Denmark, Dinamarca) A abordagem de ponto médio do EDIP cobre quase os impactos relacionados com emissões, impactos do ambientais de trabalho e a utilização dos recursos. A ponderação é baseada em metas políticas de redução de impactos ambientais.

EPS (Environmental Priority Strategies); EPS 2000 (IVL Swedish Environmental Research Institute, Suécia) Desenvolvido em parceria com a *Volvo*. Segue a normas da ISO 14040 e foi pensado em especial para as exigências de integração de análises ambientais no processo de desenvolvimento de produto.

MET-Points (Material use, Energy use, Toxicity effects) (TNO Industrial Technology/TU Delft, Holanda) MET, onde M, E e T representam ciclos de Material, uso e Energia e emissões Tóxicas. Este método tem resultados facilmente compreendida e interpretada por designers [[SK98](#)].

MIPS (Material Intensity Per Service unit) (Wuppertal Institut, Alemanha) O conceito de MIPS pode ser usada para medir a eco-eficiência de um produto ou serviço e aplicado em todas as escalas de um único produto de sistemas complexos. O cálculo leva em conta os materiais necessários para produzir um produto ou serviço. A entrada de material total (MI) é dividido pelo número de unidades de serviço (S).

ECODESIGN Toolbox (Vienna University of Technology (VUT), Áustria) Baseia-se numa avaliação iterativa do produto que combinam duas abordagens diferentes, quanto aos requisitos

ambientais e quanto aos requisitos das partes interessadas, tendo como objectivo uma análise minuciosa de diferentes aspectos dos produtos, abrangendo diferentes requisitos que estes devem cumprir, por forma a serem melhorados e consequentemente redução do seu impacto ambiental.

Eco-PaS (Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica) Eco-Pas faz uso das relações de relações de custo ecológico estimadas, que foram definidas como expressões matemáticas que estabelecem uma ligação entre os requisitos funcionais ou parâmetros de projecto que os *designers* do produto tem em mãos no início das primeiras fases de projecto [DD04].

Anexo B

Caso de Estudo: Painel de Auto-Estrada

Nome	Nome na BD	Valor
St44	material→metals→ferro→steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	massa inicial
aço carbono	material→metals→ferro→steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	massa inicial
AISI 1020	material→metals→ferro→steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	massa inicial
galvanized steel	material→metals→ferro→tin plate 50% scrap D B250	massa inicial
stainless steel	material→metals→ferro→tin plate 50% scrap D B250/RER U	massa inicial
NBR	material→plastics→rubbers→NBR I	massa inicial
silicone+carbono	material→chemicals→inorganic→silicone product, at plant/RER U	massa inicial
plain carbon steel	material→metals→ferro→steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	massa inicial
PA Type 6	material→plastics→thermoplasts→nylon 6, at plant/RER U	massa inicial
Acrylic (Medium-high impact)	material→plastics→thermoplasts→polymethyl methacrylate, sheet, at plant/RER U	massa inicial
Rubber (EPDM)	material→plastics→rubbers→synthetic rubber, at plant/RER U	massa inicial
corte	processing→metals→chipless shaping→laser machining, metal, with CO2-laser, 2000W power/RER U	tempo
quinagem	processing→metals→general manufacturing→steel product manufacturing, average metal working/RER U	massa da peça obtida
quinagem de rolos	processing→metals→general manufacturing→steel product manufacturing, average metal working/RER U	massa da peça obtida
soldadura	processing→metals→welding→welding, arc, steel/RER U	comprimento
galvanização	processing→metals→coating→zinc coating, pieces/RER U	área de superfície
serra	processing→metals→general manufacturing→steel product manufacturing, average metal working/RER U	massa da peça obtida
furação	processing→metals→chipping→drilling, CNC, steel/RER U	massa de desperdício
fresa	processing→metals→chipping→milling, steel, average/RER U	massa de desperdício
torno	processing→metals→chipping→turning, steel, CNC, average/RER U	massa de desperdício
laminagem	processing→metals→chipless shaping→hot rolling, steel/RER U	massa inicial
extrusão	processing→plastics→extrusion, plastic pipes/RER U	massa inicial
termoformação	processing→plastics→thermoforming, with calendering/RER U	massa inicial

Tabela B.1: Nome e valor associado a materiais e processos do caso de estudo

Caso de Estudo: Painel de Auto-Estrada

Material/processo	Valor Manual	Valor Add-in	Ferramenta
Estrutura 9m L/6			
Soldadura	1,132	1.132	Medição de comprimento
Galvanização	22.39	22,3905496	Extração automática
tubo horizontal (superior)			
St 44	98,858716	98,8587160	Massa inicial
Laminagem	98,8587160	98,8587160	Extração automática
Serra	98,8587160	98,8587160	Extração automática
tubo vertical			
AISI 1020	15,527324	15,5273236	Massa inicial
Laminagem	15,527324	15,5273236	Extração automática
Serra	15,527324	15,5273236	Extração automática
L lig suporte vertical - estrutura			
St 44	4,9322	4,9322006	Massa inicial
Laminagem	4,9322	4,9322006	Extração automática
Corte	0,56	0,563623	Tempo de corte
Quinagem	3,11204	3,1120406	Extração automática
chapa ligação L - Suporte vertical			
St 44	3,75076	3,750762	Massa inicial
Laminagem	3,75076	3,750762	Extração automática
Corte	0,49	0,4890265	Tempo de corte
pino			
St 44	2,09717	2,0971701	Massa inicial
Laminagem	2,09717	2,0971701	Extração automática
Serra	0,81901	0,8190132	Extração automática
Torno	1,27816	1,2781569	Massa de desperdício
Pendural			
St 44	1,03999	1,0399895	Massa inicial
Laminagem	1,03999	1,0399895	Extração automática
Serra	0,94038	0,9403761	Extração automática
Furação	0,09927	0,0992743	Massa de desperdício
Fresa	0,00034	0,0003391	Massa de desperdício
Abraçadeira superior			
St 44	54,748192	54,7481925	Massa inicial
Laminagem	54,748192	54,7481925	Extração automática
Corte	2,34	2,3413791	Tempo de corte
Quinagem	43,396233	43,3962334	Extração automática
cantoneira reforço suporte			
St 44	1,07353	1,0735348	Massa inicial
Laminagem	1,07353	1,0735348	Extração automática
Corte	0,24	0,2432277	Tempo de corte
abraçadeira inferior			
St 44	57,58152	57,5815225	Massa inicial
Laminagem	57,58152	57,5815225	Extração automática
Corte	2,13	2,1332621	Tempo de corte
Quinagem	46,67962	46,6796169	Extração automática

Caso de Estudo: Pannel de Auto-Estrada

Galvanização	0,85	0,8454397	Extração automática
anilha			
stainless steel	0.05330	0,0539804	Extração automática
parafuso			
stainless steel	0.76134	0,7711015	Extração automática
porca			
stainless steel	0.30212	0,3059891	Extração automática

Tabela B.2: Comparação de dados de LCI manual e realizado com add-in

Black Box	Reconhecido?
filtro porta	Sim
ventilador porta	Sim

Tabela B.3: Reconhecimento das Black Boxes pelo add-in

Numero de processos	Tempo médio manual(segundos)	tempo médio add-in(segundos)	Ganho
0	20	6	70%
2	60	35	42%
3	80	50	38%
4	90	60	33%

Tabela B.4: Comparação de tempos médios de catalogação de componentes

Caso de Estudo: Painei de Auto-Estrada

Anexo C

Manual de Instruções

Add-in

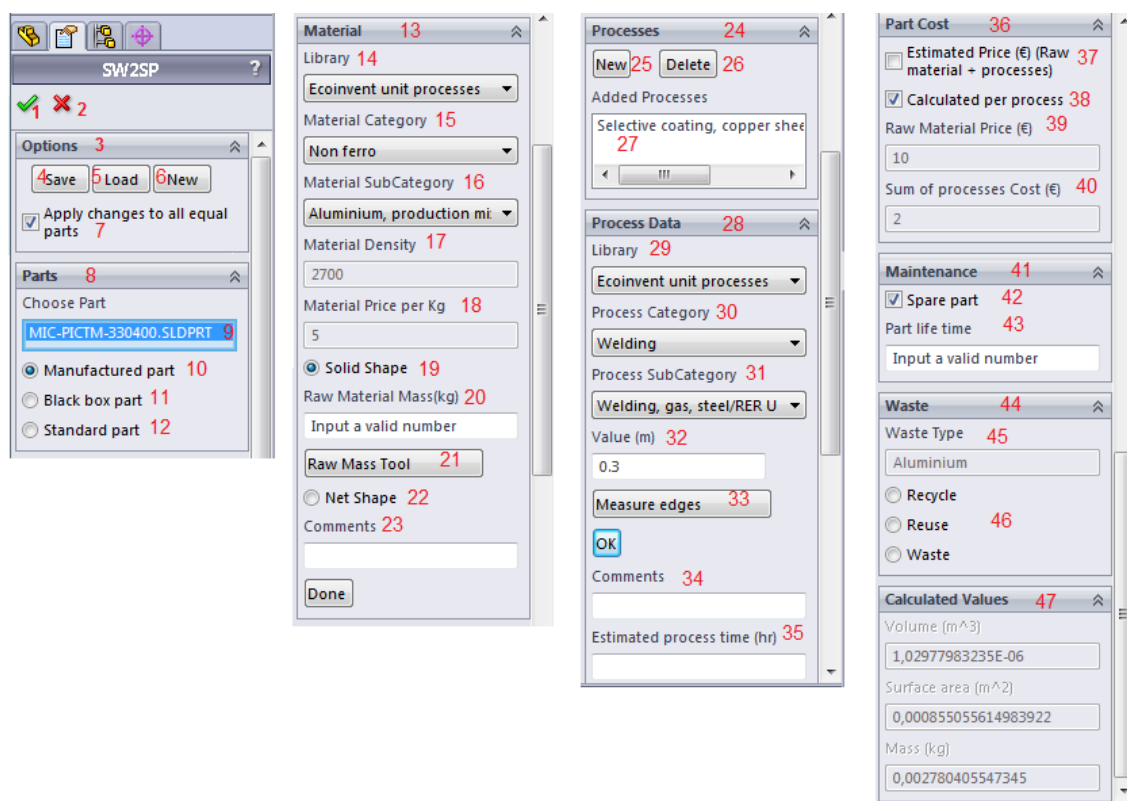


Figura C.1: Interface do add-in com legenda

Visão Geral

1 – OK Sair do add-in, confirmando as alterações. É aberta uma janela para seleccionar o local onde guardar a BD.

2 – Cancel Sair do add-in sem guardar as alterações.

- 3 – Options** Grupo opções.
- 4 – Save** Guardar alterações.
- 5 – Load** Carregar uma bd existente.
- 6 – New** Reiniciar todos os valores.
- 7 – Equal parts** Propagar alterações feitas a um componente a todos os componentes iguais a esse.
- 8 – Parts** Grupo de componentes.
- 9 – Choose part** Nome do componente seleccionado.
- 10 – Manufactured** Tipo de componente.
- 11 – Black Box** Tipo de componente.
- 12 – Standard** Tipo de componente.
- 13 – Material** Grupo de materiais.
- 14 – Library** Selecção da bd LCI do material.
- 15 – Category** Selecção da categoria do material.
- 16 – Subcategory** Selecção do material.
- 17 – Density** Densidade do material.
- 18 – Price** Preço por quilo do material.
- 19 – Solid Shape** Tipo de matéria prima – Em bloco.
- 20 – Raw material mass** – Massa inicial
- 21 – Raw mass tool** - Ferramenta de apoio ao cálculo da massa inicial.
- 22 – Net shape** Tipo de matéria prima – Pré-forma.
- 23 – Comments** Comentário.
- 24 – Processes** Grupo de processos.
- 25 – New** Adicionar novo processo.
- 26 – Delete** Apagar processo.
- 27 – Processos** Lista de processos adicionados.
- 28 – Process data** Grupo de dados de processos.
- 29 – Library** Selecção da bd LCI do processo.
- 30 – Category** Selecção da categoria do processo.
- 31 – Subcategory** Selecção do processo.

- 32 – Value** Valor associado ao processo.
- 33 – Tool** Ferramenta de apoio ao cálculo do valor de processo.
- 34 – Comment** Comentário.
- 35 – Estimated time** Inserção do tempo estimado do processo.
- 36 – Part Cost** Grupo de custos.
- 37 – Estimated Price** Inserção manual do custo.
- 38 – Calculated price** Cálculo automático dos custos. Custos de material mais custos de processos.
- 39 – Raw material price** Custos de material.
- 40 – Sum of processes cost** Custo de todos os processos.
- 41 – Maintenance** Grupo de reparação
- 42 – Spare part** Componente que necessita de substituído.
- 43 – Part life time** Tempo de vida desse componente.
- 44 – Waste** Grupo de fim de vida.
- 45 – Waste type** Tipo de material desperdiçado no fim de vida.
- 46 – Solução de fim de vida** Selecção da opção de fim de vida.
- 47 – Calculated values** Grupo dos valores calculados: volume, massa, área de superfície.

Inicialização

O add-in é inicializado no menu SW2SP. Esta inicialização pode ser feita quando uma *part* ou *assembly* está aberto.

Ferramentas de Cálculo

Muitos dos valores dos processos disponíveis podem ser calculados com o auxílio de ferramentas que podem ser executadas durante a adição de processos.

Measure edges Para calcular o somatório de comprimentos de arestas, deve-se abrir esta ferramenta e, depois disso, clicar com o rato nas arestas que se pretendem somar. Quando todas as arestas desejadas estiverem seleccionadas, clicar OK e o valor é associado ao processo em questão.

Calculate area Para calcular o somatório de áreas de superfícies, deve-se abrir esta ferramenta e, depois disso, clicar com o rato nas superfícies que se pretendem somar. Quando todas as superfícies desejadas estiverem seleccionadas, clicar OK e o valor é associado ao processo em questão.

Chip mass tool Ferramenta para calcular o material desperdiçado em processos de apara. Seleccionar o modelo inicial e clicar no primeiro botão Set, efectuar as modificações ao modelo e clicar no segundo Set. Para confirmar clicar em Calc e por fim OK para associar o valor ao processo.

Calculate Time Para calcular o tempo de corte deve ser inserida uma velocidade de corte, depois disto seleccionar as arestas cortadas com o rato. Finalmente clicar OK para associar valor ao processo.

Aplicação Central

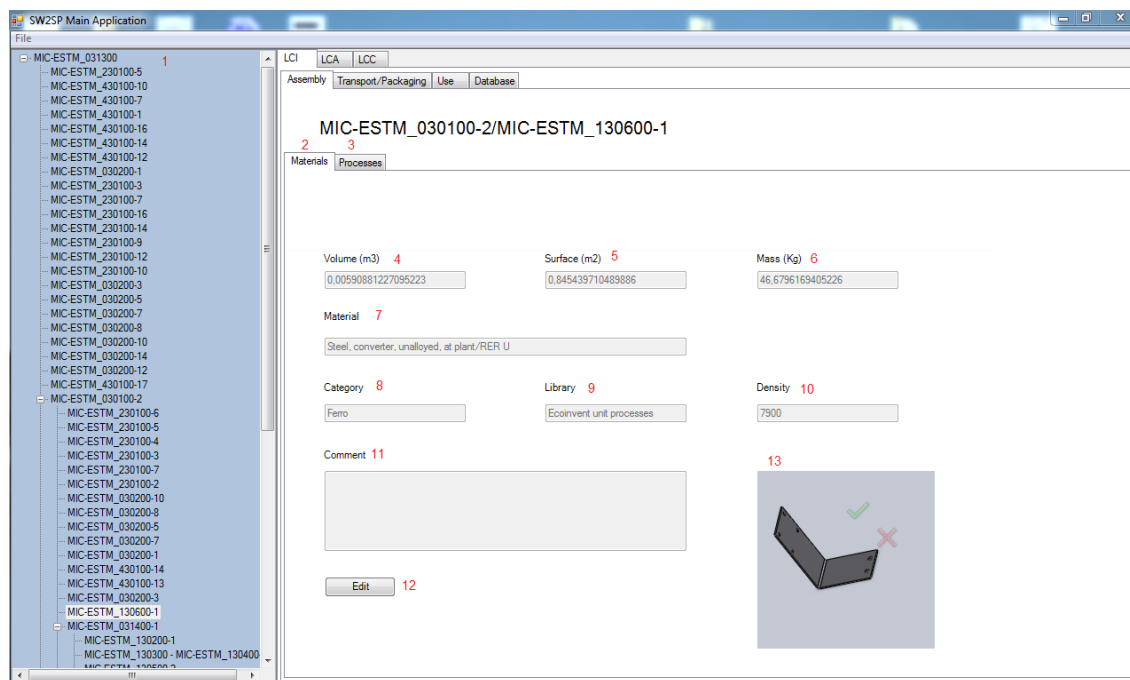


Figura C.2: Interface da Aplicação Central com legenda - Materiais

Visão Geral

- 1 – Árvore do produto** Árvore do produto carregado. Para ver/editar dados de algum componente este deve ser seleccionado clicando no nó da árvore com o seu nome.
- 2 – Materials** Informações relativas ao material do componente seleccionado.
- 3 – Processes** Informações relativas aos processos do componente seleccionado.
- 4 – Volume** Volume.
- 5 – Surface** Área de superfície.
- 6 – Mass** Massa.
- 7 – Material** Material.
- 8 – Category** Categoria do material.
- 9 – Library** Base de dados LCI onde se encontra o material.
- 10 – Density** Densidade do material.

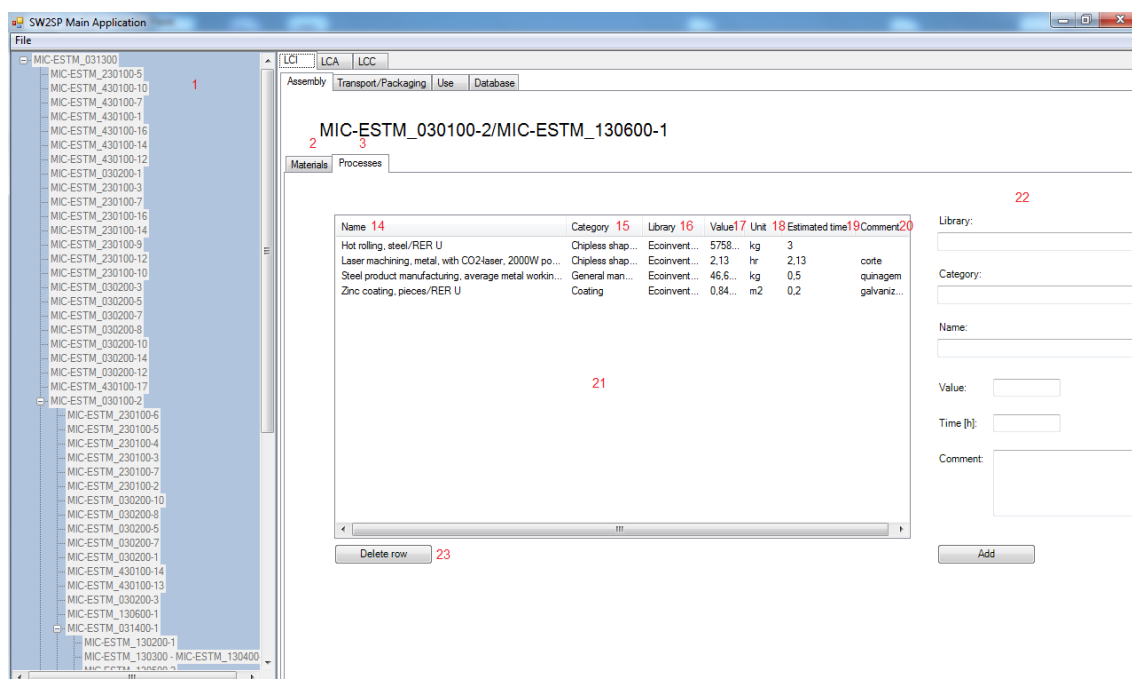


Figura C.3: Interface da Aplicação Central com legenda - Processos

11 – Comment Comentário.

12 – Edit Activar modo edição.

13 – Image Imagem do componente seleccionado.

14 – Name Nome do processo.

15 – Category Categoria do processo.

16 – Library Base de dados LCI onde se encontra o processo.

17 – Value Valor associado ao processo.

18 – Unit Unidade do valor 17.

19 – Estimated Time Tempo estimado de execução do processo.

20 – Comment Comentário.

21 – Lista de Processos Todos os processos do componente seleccionado. Duplo clique numa linha activa modo de edição do processo correspondente.

22 – Novos processos Introdução de dados para adicionar um novo processo.

23 – Delete row Apagar processos correspondentes às linhas seleccionadas.

Inicialização

A aplicação central pode ser inicializada no SolidWorks no menu SW2SP, opção App ou a partir do ficheiro *sw2sp.exe*.

Base de dados

A partir do menu File é possível carregar informações de bases de dados existentes ou guardar alterações nestas.