

O LCA UMA TÉCNICA DE ANÁLISE PARA UMA GESTÃO AMBIENTAL SUSTENTÁVEL NA INDÚSTRIA MINEIRA

Navarro Torres, Vidal

Centro de Geotecnia do Instituto Superior Técnico, Lisboa, vnavarr@mail.ist.utl.pt

Dinis da Gama, Carlos

Centro de Geotecnia do Instituto Superior Técnico, Lisboa, dgama@ist.utl.pt

Resumo

A avaliação do ciclo de vida, denominado LCA (*Life Cycle Assessment*), analisa o impacto ou carga ambiental associado aos produtos, processos e actividades desde a sua origem (matérias primárias e produtos semi-elaborados) até o fim (deposição ou eliminação) passando pela extracção, processamento, fabricação, transporte, distribuição, armazenamento, utilização, manutenção e reutilização, até os retirar do mercado e se transformam em resíduos que poderão ser reciclados, depositados ou eliminados.

Em cada momento e lugar, a tecnologia, as condições ambientais, os factores culturais, etc. condicionam de diferente maneira nos resultados da análise do ciclo de vida.

A indústria mineira é um sector que vinha sendo considerado como um grande potencial de gerador de poluentes ambientais, mas os avanços tecnológicos e científicos torna-a cada vez mais sustentável, não só economicamente, mas também em termos de protecção ambiental e responsabilidade social.

Neste sentido, a aplicação da técnica de análise do LCA dos produtos associado ao uso de potentes ferramentas informáticas como o SIMAPRO, é uma boa alternativa para avaliação dos impactes ambientais deste importante sector.

No presente artigo, apresenta-se um exemplo aplicado ao caso do cobre metal, escolhido pela sua diversidade de usos e por estar presente na nossa vida diária através de múltiplas aplicações.

1. Introdução

O LCA (*Life Cycle Assessment*) é uma técnica para a avaliação da performance ambiental do produto, para a selecção das melhores tecnologias e optimização do processo e, para a melhor prática das actividades “*desde o berço até a sepultura*” desde a extracção de materiais primários até a deposição ou eliminação final (UNEP, 1999). O LCA no processo inclui um critério de uma constante melhoria e inovação, através da aplicação tecnologias limpas e a eco-eficiência como ferramentas principais.

O presente artigo trata sobre a aplicação do LCA na indústria mineira como uma ferramenta importante na gestão ambiental sustentável de este sector, considerando como exemplo uma aplicação ao ciclo de vida do metal cobre.

2. O sistema do Life Cycle Assessment

2.1. O Sistema do Lieve Cycle Assessment de um produto mineral

No contexto do sistema da indústria mineira o LCA pode-se caracterizar mediante a figura 1, que em termos gerais considera as operações e processos do ciclo de vida de um produto mineral, onde se ilustra o requerimento (entrada) de materiais e energia para o processo e as emissões e resíduos ao ar, água e solo (saídas) no processo do Ciclo de Vida do produto mineral.

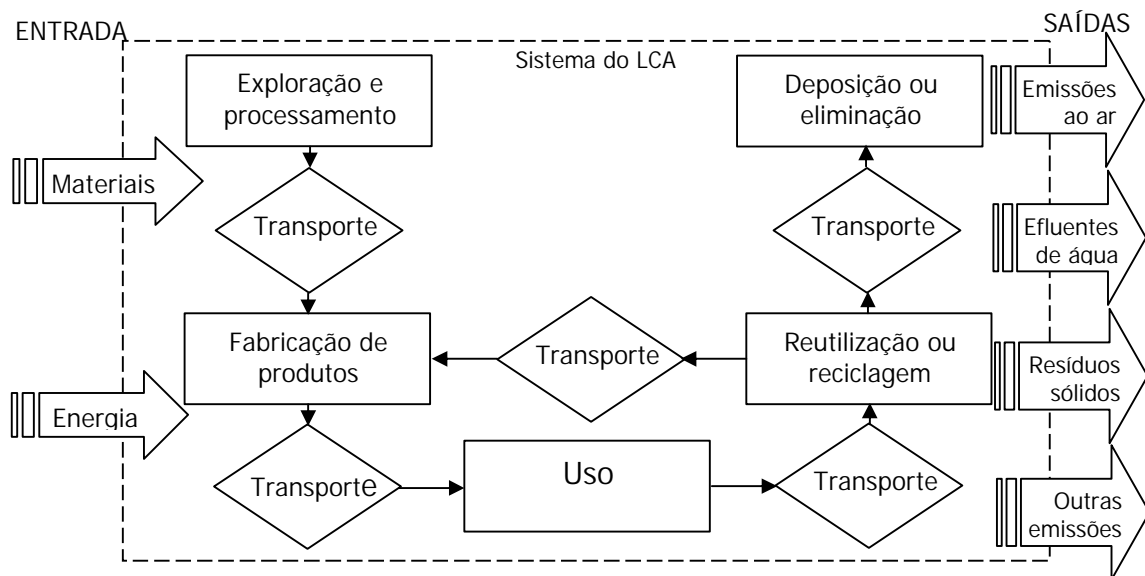


Figura 1 – O Ciclo de Vida de um produto mineral desde a exploração até deposição final

O LCA baseia-se no rigoroso balanço do fluxo de massa e energia calculadas mediante modelos ou medições nos diferentes processos do sistema. Estes balanços são utilizados para a avaliação do consumo de recursos e geração de inventários de resíduos, para depois identificar os impactes ambientais de maneira objectiva.

2.2. O Life Cycle Assessment como ferramenta do Desenvolvimento Sustentável

O LCA como uma ferramenta de análise para uma gestão ambiental sustentável na indústria mineira está posicionado numa parte que serve á Gestão do Ciclo de Vida (LCM) de forma que contribua ao Desenvolvimento Sustentável (DS) (Fig. 2).

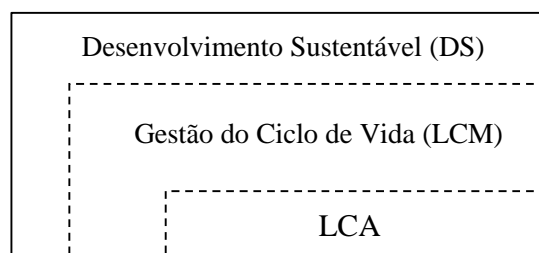


Figura 2 – O LCA como uma ferramenta no desenvolvimento sustentável

O LCA fornece uma interpretação analítica de inventários técnicos. O desenvolvimento sustentável envolve a aplicação de determinados princípios e valores às operações e aos procedimentos atuais. Envolve também monitorar o impacto destas operações no ambiente, na economia e na sociedade. LCA pode suportar o SD entregando indicadores de intervenientes ambientais agregados como uma ferramenta.

O LCA foi suficientemente tratado e estruturado pela International Organization for Standardization (ISO) desde o ano de 1997 até o ano 2000. A Tabela 1 dá uma vista geral dos padrões actualmente disponíveis.

Tabela 1 – ISO padrão para o LCA (International Organization for Standardization)

ISO n.º	Nome	Data de publicação	Sub comité
ISO 14040	Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework	Junho 1997	SC 5/WG 1
ISO 14041	Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis	Outubro 1998	SC 5/WG 1
ISO 14042	Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment	Março 2000	SC 5/WG 4
ISO 14043	Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation	Março 2000	SC 5/WG 5
ISO/WD TR 14047	Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14042	1999	SC 5
ISO/CD TR 14048	Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle assessment data documentation format	1999	SC 5
ISO/TR 14049	Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis	Março 2000	SC 5/WG 3

3. O ciclo de vida dos metais e fases do LCA

3.1. O ciclo de vida dos produtos minerais, as fases e aplicações do LCA

O ciclo de vida dos produtos minerais compreendem as etapas de exploração, concentração, refinação, manufactura, uso e deposição de resíduos. Uma aplicação das quatro fases do LCA determinadas pelas normas ISO (Baur, C., 2002), permite elaborar um modelo genérico do ciclo de vida para um metal (Fig. 3).

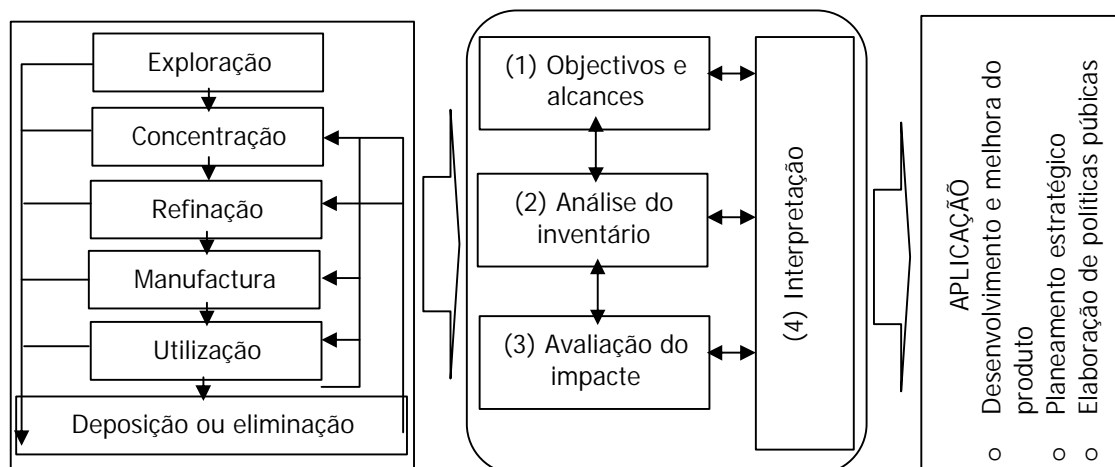


Figura 3 – O ciclo de vida dos produtos minerais, fases do LCA segundo a ISO 14040 e aplicações

Dentro de cada uma das quatro fases do LCA, o nível do detalhe para cada processo e a definição das condições do entorno é crucial para o melhor resultado. O modelo apresentado tem o carácter geral, pois, para cada caso ou para cada metal é necessário considerar as suas particularidades. Consequentemente é desejável destacar algumas daquelas edições, que poderiam também ser detectadas estritamente aplicando os padrões

Os resultados do LCA podem ser aplicados para o desenvolvimento e melhoria dos produtos, para o planeamento estratégico, elaboração de políticas públicas, estudo de mercado e outros, que em conjunto contribuem a uma gestão sustentável do produto mineral.

3.2. Etapas do LCA

A figura 4 mostra as 4 etapas que fazem parte desta metodologia em forma de fluxo contínuo.

3.2.1. Objectivos e alcances

Tem como fim agrupar informações de tipo descritivo que serve para esclarecer sem ambiguidades os objectivos e alcances do estudo. O relatório compreende:

- A definição dos compromissos e responsabilidades para garantir o uso ético e o nível de acessibilidade dos resultados;
- Se estabelecem limites de carácter temporal e geográfico para o estudo.

Quando se refere a aspectos estritamente técnicos, a definição do âmbito do estudo deverá assegurar a profundidade e detalhes do estudo para garantir que os resultados sejam compatíveis com os objectivos iniciais e resultem fiáveis e reproduzíveis.

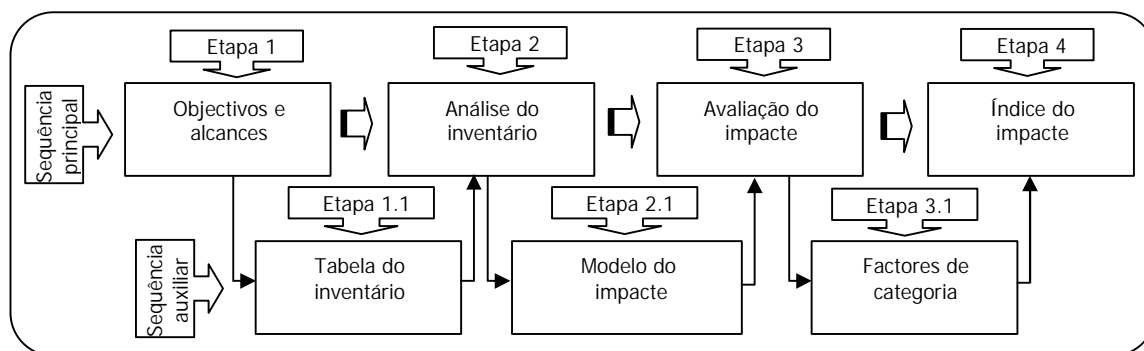


Figura 4 – Etapas e sequência metodológico do LCA

3.2.3. Avaliação do impacto

Tem como objectivo avaliar os resultados da análise do inventário, quantificando os possíveis impactes ambientais. Compreende uma fase técnica considerada como obrigatória pela metodologia e outra opcional (de carácter político) por parte do interessado do projecto. Os resultados servem para a toma de decisões.

As categorias de impactes ambientais se agrupam segundo os parâmetros associados aso fluxos de entradas e saídas do sistemas (Fig. 1) e, que podem ter âmbitos de nível global, regional e local.

3.2.4. Interpretação dos resultados

O LCA finaliza com a análise de todos os dados finais em relação a seus significados, incertezas e sensibilidade a os resultados parciais.

É conveniente uma revisão do rigor científico e, nomeadamente para os aspectos relevantes deve-se realizar os aspectos metodológicos adoptados (classificação, caracterização, padronização, etc.) para melhor interpretação dos resultados.

Portanto, nesta última fase os resultados anteriores devem ser agrupados, estruturados e analisados. A estrutura de análise deve compreender a análise de sensibilidade e incertezas, para que o conjunto de informações possibilite elaborar as conclusões e recomendações que sejam respostas as questões elaboradas na parte de objectivos e alcances do estudo.

4. O LCA no ciclo de vida do cobre

4.1. Reservas, produção e demanda do cobre

As reservas minerais globais de cobre tiveram um forte acréscimo nos últimos 70 anos, mostrando mais recentemente tendência para a estabilização, estando na actualidade as reservas medidas próximo 348 Mt (milhões de toneladas) e as indicadas de 655 Mt (Tabela 2).

Tabela 2 – Produção mundial de cobre, reservas e reserva base em Mt
(baseado em US Geological Survey, Mineral Commodity Summaries 2002 - Copper)

País	Produção		Reservas	Reservas base
	1999	2000		
EUA	1.60	1.45	45	90
Austrália	0.74	0.76	9	23
Canada	0.61	0.65	10	23
Chile	4.38	4.50	88	160
China	0.50	0.51	18	37
Indonésia	0.74	0.85	19	25
Kasaquistão	0.37	0.38	14	20
México	0.36	0.39	15	27
Peru	0.54	0.53	19	40
Polónia	0.46	0.48	20	36
Rússia	0.53	0.52	29	30
Zâmbia	0.26	0.26	12	34
Outros	1.50	1.60	50	110
Total mundial	12.60	12.88	348	655

Na distribuição global das reservas corresponde a América do Sul (Chile e Peru) 30.7 %, a América do Norte (EUA e Canadá) 15.8 %, Europa (Polónia e Rússia) 14.1% Ásia 10.9% (China e Indonésia), África (Zâmbia, etc.) 7.6% e o outros países 14.7%. Pode-se ver que a maior quantidade de reservas está localizado no continente americano com um 50.1% incluído México.

A produção global no ano 2000 foi de 12.9 Mt e com este ritmo produtivo é suficiente para atender a demanda deste metal durante 27 a 50 anos.

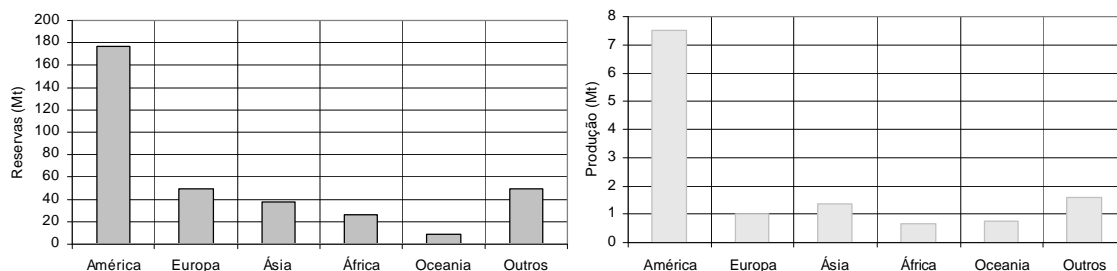
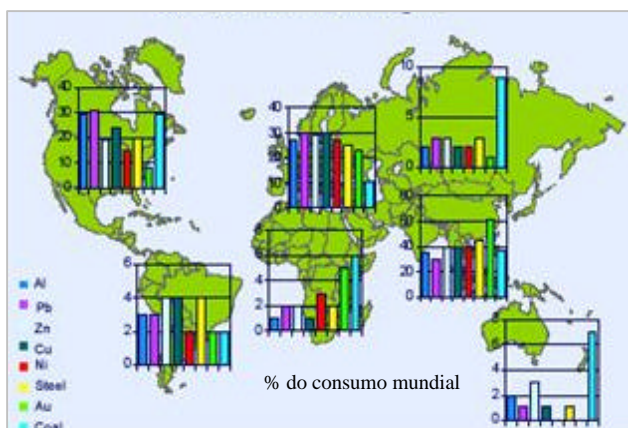


Figura 5 – Reservas e produção de cobre por continentes

Os maiores consumidores de cobre são os países de Norte América (25%), os da União Europeia com 30% e China com 40%, sendo abaixo de 4% no restos dos países (Fig. 6 esquerda).

O maior consumo per capita de cobre corresponde a países industrializados com um valor médio de 10.3 kg, seguido por países em transição com um consumo médio de 2.5 Kg, China e Índia com 1.0 kg e outros com 0.3 Kg (Fig. 6 direita).



Países		% de população mundial	Cobre kg/habitante (2000)
Tipo	País		
Industrializados	EUA	4.6	10.9
	Canadá	0.5	8.9
	Europa Oeste	6.9	10.0
	Japão	2.1	10.8
	Austrália	0.3	8.9
	Médio total	14.6	10.3
Em transição	Coreia	0.8	18.4
	Taiwan	0.4	28.6
	Outros s/ Ásia	7.8	0.9
	CIS	4.8	0.8
	Turquia	1.1	3.7
	Europa Este	1.8	3.0
	América Latina	8.6	2.0
	Médio total	26.2	2.6
China e Índia		37.8	1.0
Outros		22.4	0.3

Figura 6 – Consumo de cobre a nível mundial no ano 2000 (baseado em MMDS, 2001.)

4.2. Análise de inventários – Entradas e saídas

4.2.1. O consumo de matéria primária e emissões na obtenção de 1 t de cobre refinado

Na figura 7 ilustra-se o resumo dos dados do consumo de materiais para a obtenção de 1000 kg de cobre refinado. Como pode-se ver trata-se de um exemplo que considera, por um lado, o processamento de 141.479 t de minério de sulfureto de Cu com teor de 0.63% utilizando um lavaria cuja capacidade e tecnologia permite obter uma recuperação de 85% mediante a técnica de flotação que consome 0.133 t de reagentes e 2.9 t de calcário, obtendo-se 2.95 t de concentrado de cobre e a seguir fundir e refinar para obter 0.75 t de ânodos de cobre.

Por outro lado, trata-se do processamento de minérios de sulfureto e óxido 48.7 t mediante a técnica de lixiviação e concentração, para processar este minério a lavaria precisa de 0.87 t de ar, 0.1 t de reagentes e 2.1 t de ácido sulfúrico, obtendo-se 0.3 t de ânodos de cobre.

O total de 1.03 t de ânodos de cobre é transferido a um processo de refinação electrolítica usando 3 kg de ar e 3 kg de ácido sulfúrico para finalmente obter 1 t de cobre refinado.

Durante o processo de flutuação gera-se 141.6 t de rejeitados, na etapa de fundição e refinação se gera 4 t de escória, 0.63 t de resíduos gasosos e emissão gasosa de 5.6 t. Na lixiviação e flutuação se gera 4.7 t de rejeitado, 3.1 t de sólidos de lixiviação e resíduos gasoso de 0.8 t. Finalmente a refinação electrolítica gera 28 kg de lama e 3 kg de resíduos gasosos.

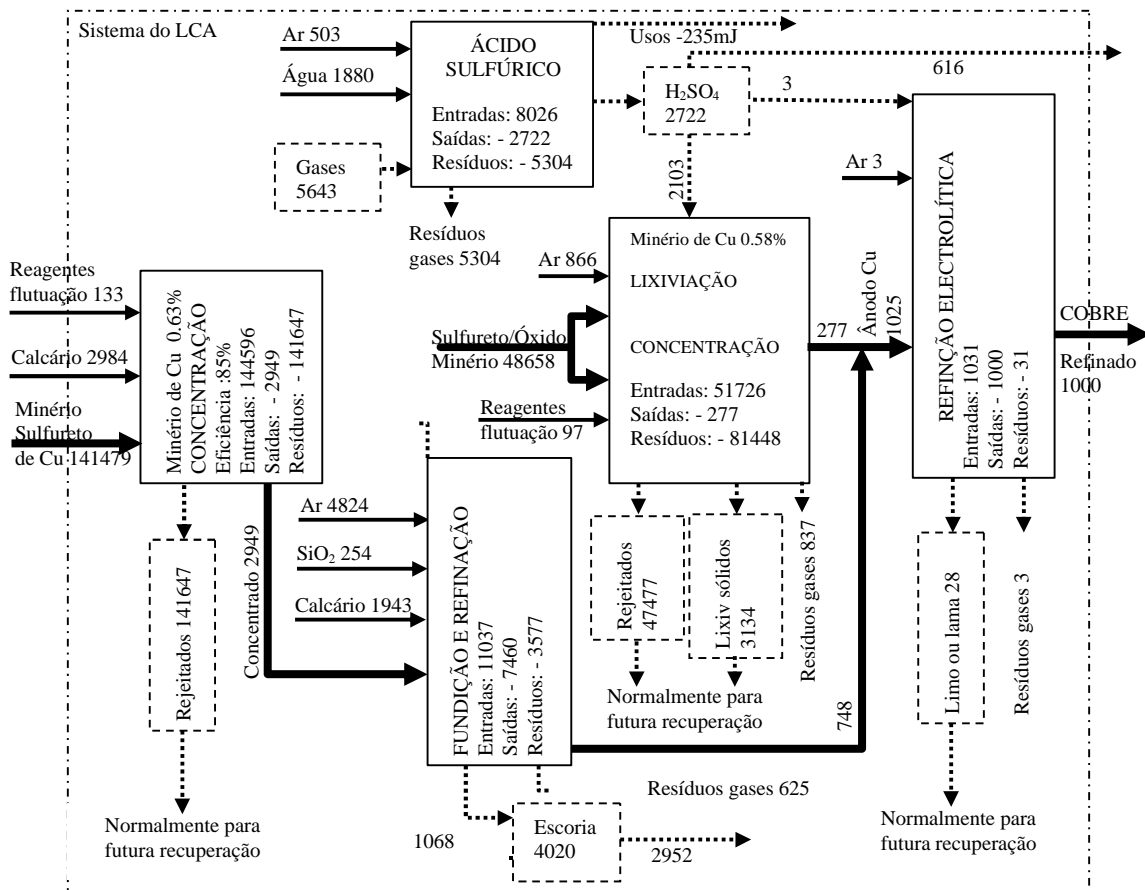


Figura 7 – Entradas e saídas no processamento do minério de cobre para uma produção de 1 tonelada de metal refinado (baseado em Ayres, R.U. et al., 2002)

4.2.2. O consumo de energia para a obtenção do 1 t de cobre refinado

A figura 8 ilustra o consumo de energia para a obtenção de 1 t de cobre refinado em base a um total de 190 t de minério sulfureto (73%) e de minério de óxido (27%) que provem da mina com um total de 68.8 gJ de energia incorporada aumentando-se para uso geral 45.3 gJ.

Após o processo a energia no resíduo é de 21.4 gJ, em forma de calor liberta-se 90.3 gJ, no produto final 2.11 gJ e no ácido sulfúrico 1.11 gJ.

4.3. Análise do impacte ambiental

4.3.1. Emissões e resíduos em minas cobre

Na etapa de exploração de minas existem emissões e resíduos durante o processo operacional de perfuração, desmonte com explosivo, carga e transporte, resultando ambientalmente mais recomendável o método subterrâneo do que o céu aberto, com é mostrado na Tabela 3 (Ayres, R.U. et al., 2002).

Os impactes ambientais produzidos na etapa da exploração de minas de cobre têm geralmente carácter local e regional, podendo também ter alguma influência a escala global.

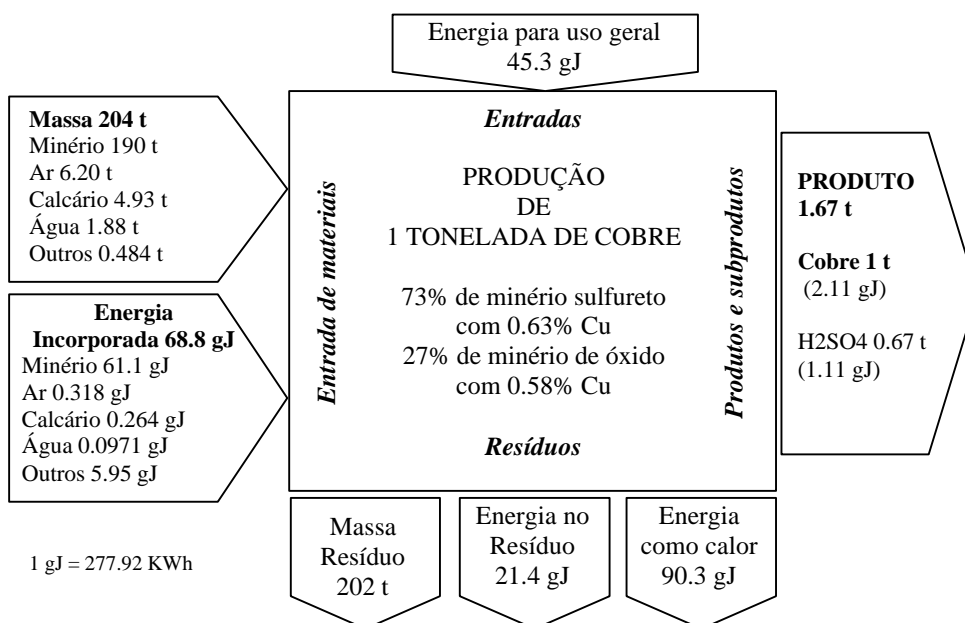


Figura 8 – Entradas e saídas de massa e energia para o processamento de 190 t de minério de cobre para obter 1 t de cobre refinado (baseado em Ayres, R.U. et al., 2002)

Tabela 3 – Emissões e resíduos sólidos em minas de cobre subterrânea e a céu aberto

Emissões e resíduos	Método subterrâneo		Método a céu aberto	
	Minério de alto teor	Minério de baixo teor	Minério de alto teor	Minério de baixo teor
Emissões por 1 t de Cu concentrado				
Fumos (Nm ³)	10300	3550	17360	26940
Poeira (kg)	18.6	65.5	95.6	230.3
SO ₂ (kg)	3.30	0.34	4.0	6.4
NO _x (kg)	7.50	5.50	18.30	27.60
CO (kg)	2.50	3.40	9.20	13.70
HC (kg)	1.10	1.60	4.20	6.30
CO ₂ (kg)	2330	500	3350	5260
Resíduos sólidos em t/1 t de Cu concentrado seco				
Escombro		6.00	292.00	76.00
Resíduos	28.80	114.00	92.00	140.00
Cinza	0.082	0.080	0.099	0.158
Gesso	0.031	0.003	0.038	0.060

4.3.2 Análise do impacte ambiental

Para a análise do impacte ambiental foi utilizado o Programa SIMAPRO 5.1 cuja base de dados (Tabela 4) mostra a contribuição no processo da obtenção de cobre refinado.

Tabela 4 – Quantidade de matéria primária e energia utilizada para a obtenção de 1 kg de cobre (base de dados do programa SIMAPRO)

Processo	IQD	Unidade	Total	Copper I	Scrap (copper) I	Bulk carrier I	Coaster I	Truck I
Bulk carrier I		tkm	8.34	x	x	8.34	x	x
Coaster I		tkm	1.93	x	x	x	1.93	x
Truck I		tkm	0.8	x	x	x	x	0.8
Trailer I		tkm	0.052	x	0.052	x	x	x
Copper I		kg	1	1	x	x	x	x
Scrap (copper) I		kg	0.13	x	0.13	x	x	x
Crude oil I		kg	0.0622	x	x	0.0622	x	x
Heavy fuel oil I		kg	0.0613	x	x	0.0613	x	x
Diesel I		kg	0.0404	x	0.00117	0.00526	0.0177	0.0162
Electricity Netherlands ETH I		MJ	0.0232	x	x	0.0232	x	x
Electricity UCPTe gas I		MJ	0.0128	x	x	0.0128	x	x
Electricity UCPTe coal I		MJ	0.0082	x	x	0.0082	x	x
Electricity UCPTe nuclear I		MJ	0.0011	x	x	0.0011	x	x
Electricity UCPTe oil I		MJ	0.00101	x	x	0.00101	x	x
Electricity UCPTe hydro I		MJ	4.7E-5	x	x	4.7E-5	x	x

O perfil de análise de impacte ambiental no ciclo de vida do cobre de tipo I (Fig. 9) mostra que as alterações e danos ambientais durante o ciclo de vida do cobre estão relacionados com os potenciais riscos de cancro, respiração de elementos orgânicos e inorgânicos, mudança climática, camada de ozono, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, ocupação do solo e com o uso de recursos não renováveis como os mineiras e óleo diesel.

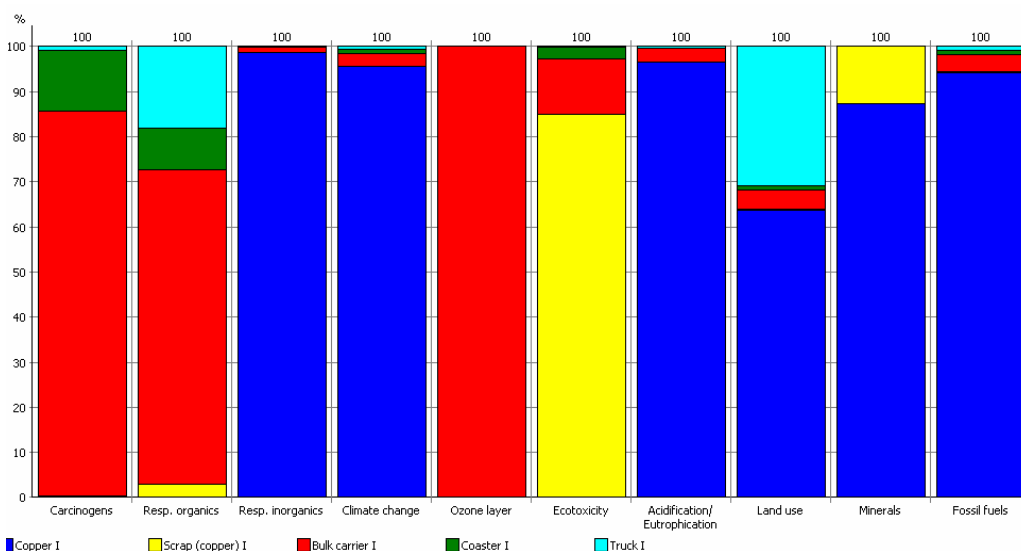


Figura 9 – Perfil da análise do impacte ambiental durante o processamento de minério de cobre

Os resultados da simulação com o SIMAPRO permitem analisar o potencial dos impactes ambientais para cada poluente (Fig. 10). Por exemplo no caso do metal cobre tem um grande potencial de contribuição na respiração inorgânica (1 Pt) e uso de recursos não renováveis (minerais 0.8 Pt e óleo 0.25 Pt), na mudança climática, camada de ozono ocupação do solo com 0.1 Pt respectivamente e o transporte com camiões tem o potencial de provocar cancro (0.03 Pt).

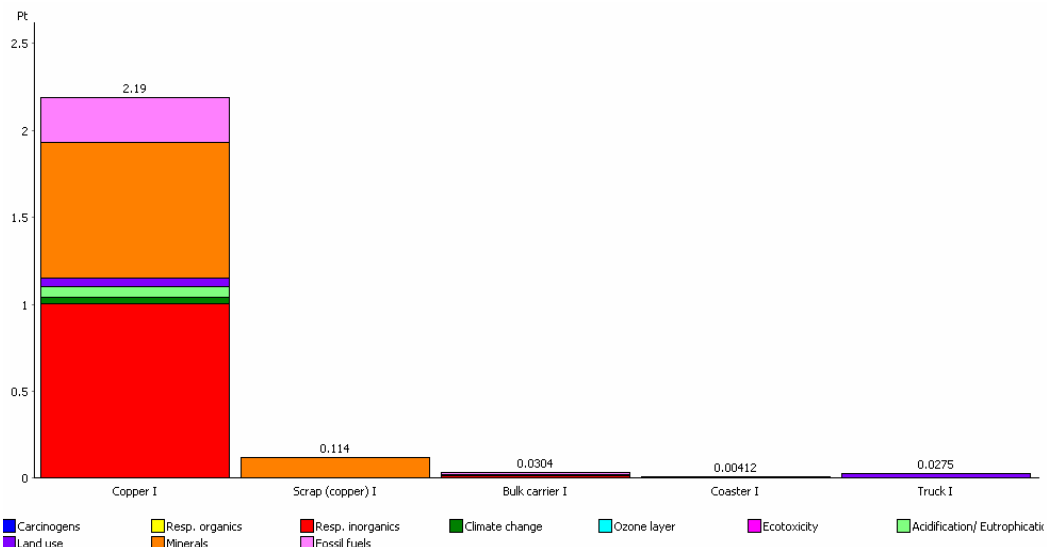


Figura 10 – Ponderação dos impactes ambientais por cada produto

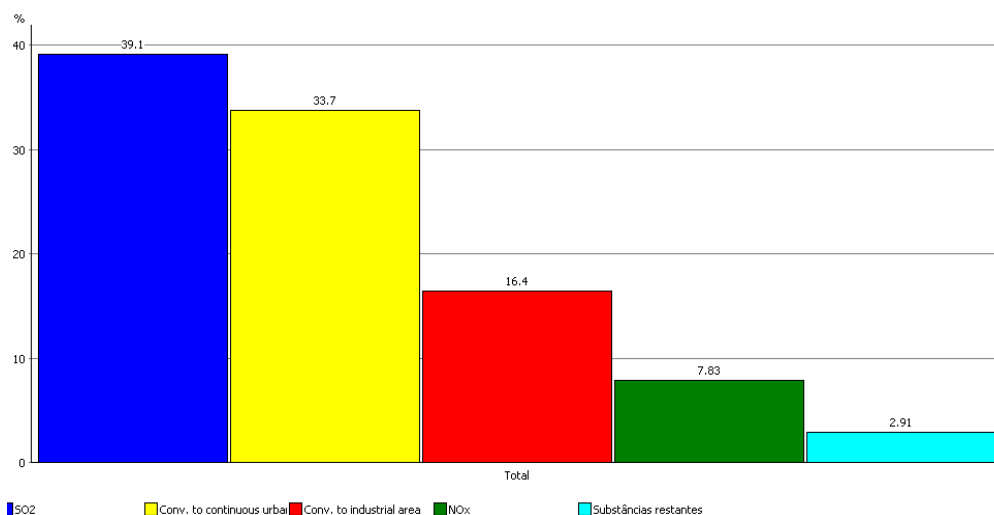


Figura 11 – Indicador de dano ao ecossistema

Finalmente a análise deve ser racionado aos danos à saúde humana, aos recursos utilizados e ao ecossistema. Como exemplo ilustra-se mediante a figura 11 os indicadores dos danos ao ecossistema que no caso da indústria do cobre por exemplo o SO₂ representa um 39.1% e o NO_x um 7.83%.

5. Conclusões

O LCA é uma técnica que permite avaliar a performance e optimização ambiental do produto e do processo desde a extracção de materiais primários até a deposição ou eliminação final. O LCA compreende três etapas: Objectivos e alcances, Análise do inventário e Avaliação do Impacte.

O LCA é uma interessante ferramenta de análise para uma gestão ambiental sustentável na indústria mineira pelo que tem uma grande valia na contribuição ao Desenvolvimento Sustentável (DS).

Para o caso do Cobre, o LCA permite caracterizar que as reservas globais com o ritmo produtivo actual permitem atender a demanda deste metal durante 27 a 50 anos.

O LCA permite caracterizar que para produzir 1 t de cobre refinado e para um cenário geral é preciso utilizar 190 t Minério, 6.20 t de ar, 4.93 t de calcário, 1.88 t de água e 0.848 de outros (massa 204 t), precisa também um consumo de 114.1 gJ de energia. A produção de resíduos sólidos é de 202 t.

O LCA permite identificar e quantificar em relação as alterações e danos ambientais durante o ciclo de vida do cobre que estão relacionados com os potenciais riscos de provocar doenças de cancro, de respiração de elementos orgânicos e inorgânicos, de mudança climática, de camada de ozono, de ecotoxicidade, de acidificação/eutrofização, de ocupação do solo e com o uso de recursos não renováveis como os mineiras e de óleo diesel.

Bibliografia

UNEP, 1999. Towards the Global Use of Life Cycle Assessment. United Nations Environmental Protection, Paris, France.

BAUER, C., 2002. Report on Policy Making, Non-Ferrous Metals and Life Cycle Studies. SCIENCE, RESEARCH AND DEVELOPMENT WORKING GROUP

INTERNATIONAL OF STANDARIZATION ORGANIZATION. Website: <http://www.iso.org/>
MINERAL COMMODITY SUMMARIES 2002 - COPPER,
Website: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/copper/240302.pdf>.

MMDS, 2001. Development of the Minerals Cycle and the Need for Minerals. CRU International

Ayres, R.U. et al., 2002. The Life Cycle of Copper, its Co-Products and By-Products, *Report of MMSD*.
Website: www.iied.org.