

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP
Departamento de Engenharia de Minas



BT/PMI/024

**Conceitos Básicos de
Iluminação de Minas
Subterrâneas**

**Sérgio Médici de Eston
Wildor Theodoro Hennies**

São Paulo - 1993

O presente trabalho é uma versão abreviada da tese de doutorado apresentada pelo Eng^o Sérgio Médici de Eston, sob a orientação do Prof. Dr. Wildor Theodoro Hennies: "Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas".

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Minas da Escola Politécnica/USP

Eston, Sérgio Médici de
Conceitos básicos de iluminação de minas subterrâneas / S.M. de Eston, W.T. Hennies. -- São Paulo : EPUSP, 1992.
36p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/024)
1. Minas - Iluminação I. Hennies, Wildor Theodoro II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas III. Título IV. Série

CDU 622.47

**CONCEITOS BÁSICOS DE ILUMINAÇÃO DE
MINAS SUBTERRÂNEAS.**

***Sérgio Médici de Eston
Wildor Theodoro Hennies***

São Paulo, 1993

084 2672

1. INTRODUÇÃO

2. ILUMINAÇÃO, SEGURANÇA E PRODUTIVIDADE

- 2.1. Características do gerenciamento moderno
- 2.2. Iluminação e produtividade
- 2.3. Iluminação e acidentes
- 2.4. Iluminação e saúde ocupacional

3. PARÂMETROS FOTOMÉTRICOS

- 3.1. Principais grandezas e unidades fotométricas
- 3.2. Fluxo radiante
- 3.3. Fluxo luminoso
- 3.4. Eficácia luminosa
- 3.5. Eficiência global de uma lâmpada
- 3.6. Intensidade luminosa de fonte puntual
- 3.7. Iluminamento (ou iluminância) de uma superfície
- 3.8. Luminância e percepção de brilho
- 3.9. Refletância

4. METODOLOGIAS DE PROJETO

- 4.1. Características do projeto mineiro
- 4.2. Dificuldades inerentes ao ambiente mineiro
- 4.3. Método ponto a ponto
- 4.4. Método dos lúmens
- 4.5. Alteração de parâmetro de projeto

5. NORMAS DE ILUMINAÇÃO PARA MINAS SUBTERRÂNEAS

- 5.1. Iluminação a céu aberto e em subsolo
- 5.2. Recomendações gerais de iluminação
- 5.3. A norma brasileira NB-57
- 5.4. A Comissão Internacional de Iluminação - CIE
- 5.5. Os Comitês Técnicos para iluminação de minas
- 5.6. Recomendações da CIE para iluminação de minas
- 5.7. Normas estrangeiras

6. CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO EM MINAS BRASILEIRAS

- 6.1. Seleção das minas analisadas
- 6.2. Dificuldades de medição
- 6.3. Resultados obtidos com as pesquisas de campo
- 6.4. Análise dos valores medidos
- 6.5. Conclusões e recomendações

7. BIBLIOGRAFIA

1. INTRODUÇÃO

Os trabalhos em minas subterrâneas apresentam fundamentalmente dois grandes aspectos de segurança. O primeiro se refere à SEGURANÇA ESTRUTURAL das aberturas, envolvendo tetos, pisos, paredes e pilares. O segundo se refere à SEGURANÇA AMBIENTAL, ou seja, a criação e manutenção de um ambiente de trabalho confortável e adequado a execução das tarefas pertinentes ao empreendimento.

A análise dos problemas de estabilidade das aberturas subterrâneas pertence ao campo da Engenharia de Maciços Rochosos ("Rock Engineering"), enquanto que o controle da qualidade ambiental do local de trabalho pertence ao campo hoje denominado de Engenharia Ambiental em Minas ("Environmental Engineering in Mines").

A mineração subterrânea sempre requereu iluminação artificial devido ao fato do ambiente de trabalho ser totalmente escuro. Na história dos sistemas de iluminação verifica-se que eles foram responsáveis por muitas fatalidades associadas a incêndios e explosões ocorridas em atmosferas contendo gases (como o metano) e pó como o de carvão. Estes problemas só foram controlados com o desenvolvimento de lâmpadas de segurança (a chama, de carbeto de cálcio, etc). Portanto o primeiro e mais importante aspecto da iluminação em subsolo se refere a segurança humana.

A hipótese de que uma melhor iluminação conduziria a operações mais seguras e eficientes, motivou o desenvolvimento e a aplicação de fontes artificiais de luz em ambientes de trabalho industriais. Partindo-se da lâmpada incandescente de Edison chegou-se hoje a complexos sistemas que utilizam múltiplos tipos de fontes luminosas como incandescentes, fluorescentes, a vapor de mercúrio, de sódio sob alta pressão, de sais metálicos, etc.

Pesquisas qualitativas e quantitativas demonstraram que realmente a melhoria da iluminação produz um aumento da segurança, do conforto e da produtividade. Todavia o rápido avanço tecnológico na área de iluminação industrial não foi acompanhado pela mineração subterrânea, principalmente pela lavra de carvão. Este atraso teve várias causas dentre as quais pode-se destacar as seguintes:

- a. no início as lâmpadas de mineração tinham curta vida útil devido a sua fragilidade mecânica;
- b. também no início a produção luminosa era baixa, oferecendo pouca melhoria com relação às lâmpadas de chama já em uso;
- c. a introdução de equipamentos elétricos em minas é sempre problemática devido ao perigo potencial de explosões e incêndios;
- d. na lavra de carvão os sistemas de iluminação teriam que ser móveis, acompanhando a evolução os; o pequeno mercado não era um incentivo a este desenvolvimento, o que só veio a ocorrer quando a iluminação subterrânea passou a ser regulamentada por lei.

O caso dos Estados Unidos foi típico. Em 1969 o congresso americano aprovou o "Federal Coal Mine Health and Safety Act", autorizando a criação e a promulgação de normas referentes às condições de iluminação em todos os locais de minas subterrâneas em que pessoas estivessem trabalhando. O "Bureau of Mines" começou então a pesquisar níveis de iluminação e equipamentos que satisfizessem as normas que viessem a ser promulgadas. Em 1976 foram apresentadas para discussão as normas federais sobre iluminação subterrânea de carvão, as quais foram promulgadas em 1978. Estas especificam os requisitos de iluminação em todos os locais em que pessoas estiverem trabalhando ou equipamentos auto-propelidos estejam sendo operados. Muitos outros países tem hoje normas específicas para a mineração mas não existe ainda uma padronização definitiva quanto a parâmetros de projeto, pois as especificações se apresentam tanto em níveis de iluminamento como em termos de níveis de luminância superficial.

Uma mina subterrânea é um local escuro e muitos acidentes podem ser ocasionados pela falta de apropriada visibilidade. Portanto na iluminação em subsolo uma das preocupações básicas é a visualização das situações de risco. Na vida cotidiana em superfície liga-se a luz das casas ou do carro de modo rotineiro, sem uma atenção específica aos problemas derivados de uma iluminação inadequada. Numa mina os problemas são muito maiores e mais graves, além de se depender totalmente das luzes artificiais.

A iluminação de minas é uma área de rápida expansão tecnológica e crescente interesse sob os pontos de vista da segurança ocupacional, higiene do trabalho e produtividade. A mineração tem tantas características peculiares que a iluminação de uma mina subterrânea parece ser melhor executada por engenheiros com experiência em mineração e pouco conhecimento de iluminação, do que por especialistas em iluminação com pouco conhecimento de mineração.

2. ILUMINAÇÃO, SEGURANÇA E PRODUTIVIDADE

2.1. CARACTERÍSTICAS DO GERENCIAMENTO MODERNO

A Engenharia Ambiental aplicada a mineração subterrânea tem tido cada vez mais importância não só nos aspectos ligados à segurança e saúde ocupacional mas também nas análises de custos e

produtividade. É hoje importante componente de qualquer projeto de mineração, tanto no aspecto de planejamento como de gerenciamento, e sob esta ótica se insere num amplo programa gerencial de controle de perdas e danos (atualmente já aplicado em algumas minas subterrâneas brasileiras).

De acordo com a literatura mais recente a engenharia ambiental em minas engloba uma variada gama de tópicos que podem ser didaticamente agrupados em agentes e medidas de controle. Dentre os agentes temos os físicos, os químicos, os biológicos e os ergonômicos. Dentre as técnicas de controle e mitigação destacam-se os equipamentos de proteção individual (EPI) e a ventilação forçada (geral diluidora ou local exaustora).

Dentre os agentes físicos a iluminação é de capital importância nas minas subterrâneas, principalmente nos aspectos de segurança operacional. Além disso recentes pesquisas tem demonstrado sua relação direta com frequência e gravidade de acidentes bem como com a eficiência e a produtividade.

Apesar da relação entre nível de iluminação, segurança do ambiente de trabalho e produtividade ser intuitiva, a demonstração de que a boa iluminação favorece os outros dois aspectos não é simples. Estudos realizados em diversas indústrias demonstraram que a melhoria da iluminação proporciona aumento da produtividade e da qualidade do trabalho, já existindo na literatura material demonstrativo desta correlação para testes laboratoriais controlados e para ambientes industriais onde se possa manter constantes as demais variáveis exceto a iluminação.

Estudos quantitativos conclusivos sobre as relações iluminação-produtividade e iluminação-segurança em mineração são difíceis, porque é necessário efetuar estudos similares aos feitos para escolas, escritórios, estradas e indústrias. Todavia no ambiente mineiro existem muitos fatores interrelacionados, como as condições geológicas, as espessuras das camadas e a emissão de gases, que variam continuamente e que são virtualmente impossíveis de isolar ou controlar. No caso específico de minas subterrâneas muitas dificuldades complicam a execução de testes e a análise dos resultados, podendo-se citar:

- a. a impraticabilidade de instalações permanentes, devido a evolução da lavra, aos contínuos desmontes e aos custos de instalação e manutenção;
- b. a ausência de uma definição legal exata do que seja uma boa iluminação mineira;
- c. a agressividade do ambiente mineiro, com baixa refletância das superfícies e diminuição transmissão devido a poeiras e fumaças.

Fica assim muito difícil avaliar o efeito isolado de um único fator como o nível de iluminamento, e quantificar os ganhos em termos de prevenção de acidentes ou fatalidades. Contudo as análises consistentemente indicam um aumento da segurança e ou da produtividade nas secções melhor iluminadas da mina, e o corpo de evidências diretas e indiretas cada vez justifica mais a melhoria da iluminação em subsolo de modo a se ter fontes de rede além das individuais de capacete e dos faróis dos veículos.

2.2. ILUMINAÇÃO E PRODUTIVIDADE

Engenheiros civis e arquitetos tem uma vasta literatura disponível sobre os níveis ótimos de iluminação em escritórios e indústrias, o que não ocorre com os engenheiros de minas. Todavia estudos em minas demonstraram um claro aumento da produtividade nos realces e secções iluminados em comparação com os não iluminados.

Para minas de carvão na Hungria estudos efetuados durante 2 meses por Halmos mostraram que as secções que continham iluminação geral de rede (além daquela dos capacetes) apresentaram produtividade de 5 a 26% maior com relação às secções não iluminadas. Num estudo anual efetuado numa mina americana de carvão constatou-se que um realce-teste com iluminação geral apresentara um nível de produção (toneladas por homem-turno) 17% superior com relação ao realce com o segundo nível de produção.

Levantamentos efetuados em 1979 por um comitê formado pela "United Mine Workers of America" (UMWA), pela "Bituminous Coal Operators Association" (BCOA) e pela "Mining Safety and Health Administration" (MSHA) forneceram respostas favoráveis dos trabalhadores de minas lavradas por câmaras e pilares com relação às novas normas de iluminação. Observações restritivas foram feitas para camadas com espessuras inferiores a 107 cm devido a problemas de ofuscamento visual. Portanto a satisfação dos trabalhadores com a iluminação em subsolo é uma das componentes que favorecem o aumento da produtividade.

O aspecto melhoria da produtividade é importante para que as empresas percebam os benefícios da boa iluminação, a qual aumenta também a disponibilidade e desempenho dos equipamentos.

2.3. ILUMINAÇÃO E ACIDENTES

Para situações como trabalho em fábricas e tráfego em estradas existem muitas evidências diretas documentadas demonstrando que o aumento da visibilidade diminui o número de acidentes. Na mineração as evidências são menos diretas e precisas porque a iluminação é apenas um dos fatores que contribui

para a situação de risco e para a ocorrência do acidente. Minas são locais de trabalho de alto risco devido a uma série de fatores e a iluminação é apenas um dos componentes da situação de risco.

Estudo do "National Safety Council" dos Estados Unidos revelou que a iluminação insuficiente era a causa de 5% dos acidentes nas indústrias, e que em 20% dos casos a pouca iluminação e a fadiga visual eram componentes da situação de risco potencial. Em minas, onde se tem um dos mais perigosos ambientes de trabalho, é de se esperar que estas porcentagens sejam até maiores. Estudos conduzidos por Halmos em minas húngaras de linhito demonstraram uma diminuição de 60% dos acidentes para secções com iluminação de rede, enquanto que o aumento do nível de iluminamento de 20 para 250 lux diminuiu o número de acidentes em 42%. Mishrat e Dixit concluíram que 35% de todos os acidentes menores ocorridos em minas de carvão indianas podiam ser atribuídos a má iluminação. Estudos efetuados durante 2 anos numa mina de carvão de West Virginia indicaram não ter ocorrido nenhum acidente grave em uma secção iluminada, enquanto tinham ocorrido 10 acidentes em 5 secções sem iluminação geral.

Minas são ambientes de alto risco e onde há pouca luz para destacar todas as informações, o cérebro não interpreta corretamente os sinais visuais, demora para processar imagens e para reagir face a situações de perigo. Estas características são ainda mais importantes quando estão associadas a locais onde se tem equipamentos móveis tais como jumbos de perfuração, pás carregadoras, caminhões, correias transportadoras e vagonetas.

2.4. ILUMINAÇÃO E SAÚDE OCUPACIONAL

Estima-se que na virada do século a temida e incurável doença visual nistagmus atingia cerca de 70% dos carvoeiros da Europa e Reino Unido, mas ela desapareceu com a utilização sistemática das lâmpadas de capacete e de novos métodos de lavra.

Atualmente as pesquisas se direcionam para a relação entre níveis de iluminação e a ausência (ou excesso) de alguma faixa espectral, como por exemplo a radiação ultravioleta em lâmpadas fluorescentes, e também para as relações entre quantidade de luz e ritmos corporais. Análises tem sido feitas correlacionando ausência de luz, baixa moral e depressão psíquica ("mid-winter blues"), enfocando-se o papel da glândula pineal cujas secreções controlam os órgãos hormonais e a qual é afetada pela qualidade e quantidade de luz.

A relação entre luminosidade e ritmos corporais está associada ao ritmo térmico do corpo, o qual se repete a cada 24 horas e tende a ter o pico de temperatura coincidente com os momentos de máxima luminosidade. Alterando-se o período de máxima luminosidade o corpo gradualmente altera seu ritmo termal para que os picos de luz e de temperatura coincidam. Este aspecto é importante para o trabalho em minas porque o pico térmico ocorre para o momento de máxima ativação e desempenho do corpo, sendo prejudicial a alternância de turno diurno e noturno para as equipes de trabalho. É preferível que as equipes trabalhem continuamente num mesmo horário sem a alternância a cada semana pois esta é mais ou menos o período que o corpo leva para se adaptar a mudança de horário.

3. PARÂMETROS FOTOMÉTRICOS

3.1. PRINCIPAIS GRANDEZAS E UNIDADES FOTOMÉTRICAS

Fontes luminosas comuns se caracterizam por transformar a energia elétrica recebida em energia eletromagnética radiante. A emissão da energia radiante depende da temperatura e da natureza da superfície emitente, e se observa que apenas uma parte da potência elétrica recebida (P_{el}) se transforma em fluxo eletromagnético radiante (ϕ_r), como ilustra a figura 3.1.

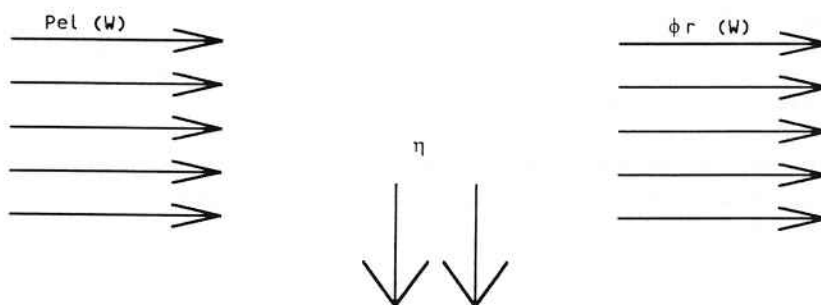


Figura 3.1. Transformação de potência elétrica em energia radiante.

As perdas incluem calor por convecção e radiação, absorção, etc. O rendimento é dado por: $\eta = \phi_r / P_{el}$. Verifica-se também experimentalmente que apenas uma parte do fluxo radiante (ϕ_r) sensibiliza o olho humano, mais precisamente a estreita faixa de comprimentos de onda entre 380 e 780 nm.

Unidades como o watt são usadas quando se quer quantificar a energia associada às grandezas potência elétrica ou fluxo radiante, tendo-se então as "intensidades" das fontes como emissoras de radiação eletromagnética. Como o que interessa comparar são as "intensidades relativas" das fontes como emissoras de luz visível, em projetos de iluminação esta-se mais interessado em comparar fluxos luminosos do que fluxos radiantés.

A experiência mostra que quantidades iguais de fluxos radiantés de diversos comprimentos de onda não produzem iguais percepções de brilho visual. Além disso, quantidades iguais de fluxos luminosos monocromáticos de cores distintas também não produzem a mesma percepção visual de brilho. Estas observações são sintetizadas na curva espectral de eficiência luminosa a qual reflete o fato de que para um grande número de pessoas a vista é mais sensível à luz verde de comprimento de onda de 555 nm. Os limites desta curva experimental é que definem a faixa de comprimentos de onda que sensibilizam o olho humano, estimada entre 380 e 780 nm. Estes limites do espectro visível não são rígidos, e com iluminação reduzida a vista se torna mais sensível a comprimentos de onda mais curtos; nestes casos a percepção do maior brilho se situa na faixa de 500 a 550 nm.

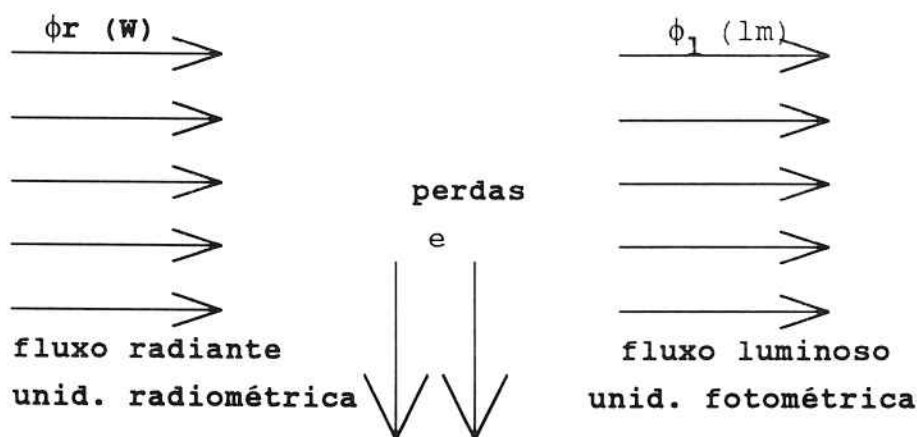


Figura 3.2. Uma parte do fluxo radiante ϕ_r compõe o fluxo luminoso ϕ_l , o qual é capaz de sensibilizar o olho e cuja unidade é o lúmen (e não o watt).

O decaimento da percepção do brilho para cores diferentes do verde é rápido, e a 610 nm o brilho relativo é de apenas 50%. Isto é, se olharmos uma superfície onde incidem fluxos iguais de energia radiante, medidos em watts, e de comprimentos de onda de 555 e 610 nm, para o segundo parecerá que se tem apenas metade do brilho do primeiro.

Para um mesmo observador uma lâmpada emitindo um milésimo de watt de luz verde parece brilhante, ao passo que uma emitindo um milésimo de watt de luz azul parece pálida. A relação na curva espectral é da ordem de 1 para 0,05 ou seja, a luz azul parece vinte vezes menos brilhante. Lâmpadas que emitem apenas radiações com comprimentos de onda menores que 380 nm ou maiores que 780 nm não apresentam "brilho" e parecem negras.

Dos exemplos acima percebe-se que o watt não é adequado para quantificar fluxo luminoso, e o que se precisa é de uma unidade que exprima a capacidade da radiação provocar sensações visuais subjetivas de brilho. O instrumento básico de medida é o olho humano e a ciência que compara quantidades de luz e seus efeitos na iluminação de objetos, tendo por base as sensações visuais, chama-se fotometria.

Os sistemas de unidades fotométricas são muito particulares, porque aplicam uma função de ponderação humana às medidas físicas de energia. Ou seja, eles ponderam as energias medidas com a curva espectral de eficiência luminosa. Esta é uma diferença essencial entre unidades radiométricas e fotométricas; as primeiras são usadas para radiações não visíveis e não incluem esta ponderação humana.

As principais grandezas que nos interessam em projetos de iluminação mineira são: potência elétrica (P_{el}), fluxo radiante (ϕ_r), fluxo luminoso (ϕ_l), eficácia luminosa (e), intensidade luminosa (I), iluminamento ou iluminância (E), luminância (L) e refletância (r).

3.2. FLUXO RADIANTE

É a potência transportada por todas as radiações de um feixe eletromagnético independentemente de

efeitos visuais. Ou seja é a energia transportada na unidade de tempo por todos os comprimentos de onda do feixe. Sua unidade é o watt. Este fluxo contém radiações visíveis e não visíveis.

3.3. FLUXO LUMINOSO

É a potência transportada medida conforme a sensação visual que pode produzir. Sua unidade no sistema internacional é o lúmen, símbolo lm, que representa energia na unidade de tempo tanto quanto outras unidades como o watt, o cavalo-vapor, a caloria por segundo, etc. Definido o lúmen e utilizando-se considerações geométricas é possível se definir as demais unidades que quantificam a distribuição da luz no espaço e sobre objetos.

Com um instrumento como um fotômetro de cintilação, pode-se comparar a sensação subjetiva de brilho causada pela fonte padrão com a sensação provocada pela luz de qualquer cor. Se o olho fosse igualmente sensível a todo o espectro eletromagnético, então o fluxo luminoso ϕ_l seria igual ao fluxo radiante ϕ_r e ambos seriam medidos em watts. Mas o olho só é sensível a uma pequena faixa de radiações (entre 380 e 780 nm), e mesmo dentro desta faixa a sensibilidade varia como indicado pela curva espectral de eficiência luminosa. No pico da curva espectral (luz verde com $\lambda = 555$ nm) obtém-se que 1 watt de fluxo radiante monocromático corresponde a 685 lúmens de fluxo luminoso. Para fluxos Π radiantes monocromáticos de outras cores (portanto não mais no pico da curva espectral), 1 watt de fluxo radiante corresponde a menos que 685 lúmens de fluxo luminoso.

3.4. EFICÁCIA LUMINOSA

A partir da curva espectral de eficiência luminosa define-se a noção de eficácia luminosa (e), dada pelo quociente:

$$e = \phi_l / \phi_r \quad (3.1)$$

Como ϕ_l é dado em lúmens e ϕ_r em watts, a eficácia é dada em lúmens por watt. A máxima eficácia de 685 lm/W ocorre para a luz verde de comprimento de onda de 555 nm; para qualquer outra cor a eficácia é menor que 685 lm/W. Para radiações monocromáticas fora do pico da curva espectral a eficácia luminosa é obtida através do fator de luminosidade f. Este fator corresponde a ordenada da curva espectral e portanto:

$$e = \{f \times 685\} \text{ lm/W} \quad (0 < f < 1) \quad (3.2)$$

Para a luz de vapor de sódio com comprimento de onda de 589 nm, temos para f o valor de 0,765. Logo a eficácia luminosa desta luz amarela será de:

$$e = (0,765)(685) = 524 \text{ lm/W}$$

Ou seja, cada watt de potência radiante desta luz conterà 524 lúmens de energia luminosa. Já para a radiação amarela de comprimento de onda de 600 nm um feixe de 5 watts desta luz conterà os seguintes lúmens:

da curva espectral: $f = 0,5$

como: $e = f \times 685$ ----- $e = 341,5 \text{ lm/W}$

mas: $e = \phi_l / \phi_r$ ----- $\phi_l = 341,5 \times \phi_r$

para: $\phi_r = 5W$ --- $\phi_l = 341,5 \times 5 = 1707,5 \text{ lm}$

3.5. EFICIÊNCIA GLOBAL DE UMA LÂMPADA

A eficiência de transformação da potência elétrica em potência radiante, simbolizada por η , e a eficiência do fluxo radiante em produzir sensação visual, expressa pela eficácia e, permitem as relações:

$$\eta = \phi_r / P_{el} \quad (3.3)$$

$$e = \phi_l / \phi_r \quad (3.1)$$

A eficácia luminosa exprime uma propriedade de um fluxo radiante, e podemos definir a eficiência global de uma fonte luminosa (como uma lâmpada) por:

$$\eta_g = \phi_l / P_{el} \quad (3.4)$$

Portanto:

$$\eta_g = (e \times \phi_r) / P_{el} = (f \times 685 \times \phi_r) / P_{el}$$

$$\eta_g = f \times 685 \times (\eta_g P_{el}) / P_{el}$$

Finalmente:

$$\eta_g = f \times \eta \times 685 \text{ lm/W} \quad (3.5)$$

Devido as perdas por calor (expressas por η) e a produção de radiações não visíveis (expressas por e), a eficiência luminosa global das lâmpadas é bem inferior a 685 lm/W. Para lâmpadas fluorescentes brancas η_g é da ordem de 50 lm/W, e para incandescentes brancas é da ordem de 20 lm/W.

3.6. INTENSIDADE LUMINOSA DE FONTE PUNTUAL

A intensidade luminosa é uma grandeza usada para se descrever como o fluxo luminoso, emitido por uma fonte puntual, se distribui no espaço que a rodeia. A definição formal é: a intensidade luminosa de uma fonte puntual, numa dada direção, é a quantidade de fluxo luminoso que ela irradia por unidade de ângulo sólido na direção considerada. Esta definição envolve o conceito de ângulo sólido que apresentamos a seguir.

O ângulo sólido $\Delta \Omega$ é medido em esterorradianos, dados pelo quociente entre a área ΔS e o raio da esfera ao quadrado:

$$\Delta \Omega = \Delta S / R^2 \quad (3.6)$$

Portanto o ângulo sólido de 1 esterorradiano é aquele cuja área na superfície da esfera é igual ao raio ao quadrado. Como a superfície da esfera é de 4π vezes o raio ao quadrado, o espaço todo ao redor do centro contém um ângulo sólido de 4π esterorradianos.

Matematicamente a intensidade luminosa de uma fonte puntual é dada pelo quociente:

$$I = d\phi_l / d\Omega \quad (3.7)$$

onde:

$d\phi_l$ = fluxo luminoso em lúmens

$d\Omega$ = ângulo sólido em esterorradianos

I = intensidade luminosa em lúmens por esterorradianos (ou candelas) na direção do ângulo sólido considerado.

Como não existem na realidade fontes puntuais, uma fonte real pode ser tratada como puntual quando sua maior secção transversal for igual ou inferior a 1/20 da distância da qual ela é observada. Aproximações mais grosseiras são feitas para a relação 1/10. Assim uma chama de vela de 2 cm é considerada puntual a mais de 40 cm. Para fontes não puntuais extensas existe o conceito de luminância que será visto mais adiante.

A maioria das fontes não emite quantidades iguais de fluxo luminoso por unidade de ângulo sólido em todas as direções do espaço. Por exemplo uma lâmpada incandescente não emite fluxo na direção da sua base. Assim para uma fonte luminosa puntual de intensidade A candelas para todas as direções, o fluxo luminoso que ela emite para o espaço que a rodeia é expresso por:

$$\phi_l = \int_0^{4\pi} d\phi_l = \int_0^{4\pi} I d\Omega = 4\pi A \text{ candelas}$$

O fluxo luminoso dado em lúmens representa a quantidade de energia luminosa transportada na unidade de tempo, e pode ser visualizado através de linhas de fluxo luminoso. Do exposto fica claro que a intensidade luminosa de uma fonte puntual é uma grandeza direcional, com a direção sendo definida pelo "eixo" do ângulo sólido. A intensidade calculada pela expressão:

$$\bar{I} = \phi_l / \Omega$$

é uma intensidade média para todo o ângulo sólido e uma área sobre uma esfera centrada na fonte puntual. A medida que o ângulo sólido é subdividido em ângulos menores a variação da intensidade com a direção pode ser melhor avaliada. No limite:

$$I = d\phi_l / d\Omega \quad (3.8)$$

Para áreas infinitesimais dA que não estejam sobre a superfície de uma esfera, ou seja para áreas infinitesimais cujas normais não contenham o vértice do ângulo sólido, temos a seguinte expressão para o ângulo sólido:

$$d\Omega = dA_{proj} / R^2 \quad (3.9)$$

onde dA_{proj} representa a projeção de dA na direção normal ao raio como mostra a figura 3.3.

Os conceitos de ângulo sólido e intensidade luminosa tem aplicação direta nos problemas de iluminação mineira quando se considera questões como níveis mínimos de iluminação em subsolo.

3.7. ILUMINAMENTO (OU ILUMINÂNCIA) DE UMA SUPERFÍCIE

3.7.1. ILUMINAMENTO MÉDIO

Quando um fluxo luminoso incide numa superfície dizemos que ela está iluminada. O quanto ela está iluminada é dado pelo conceito de iluminamento, que é a quantidade de fluxo luminoso que atinge a superfície. Matematicamente temos:

$$\bar{E} = \Delta\phi_l / \Delta S \quad (3.10)$$

onde:

$\bar{E}$ = iluminamento médio na superfície ΔS , dado em lm/m^2 ou lux, símbolo lx.
 $\Delta\phi_l$ = fluxo luminoso total incidindo na superfície.

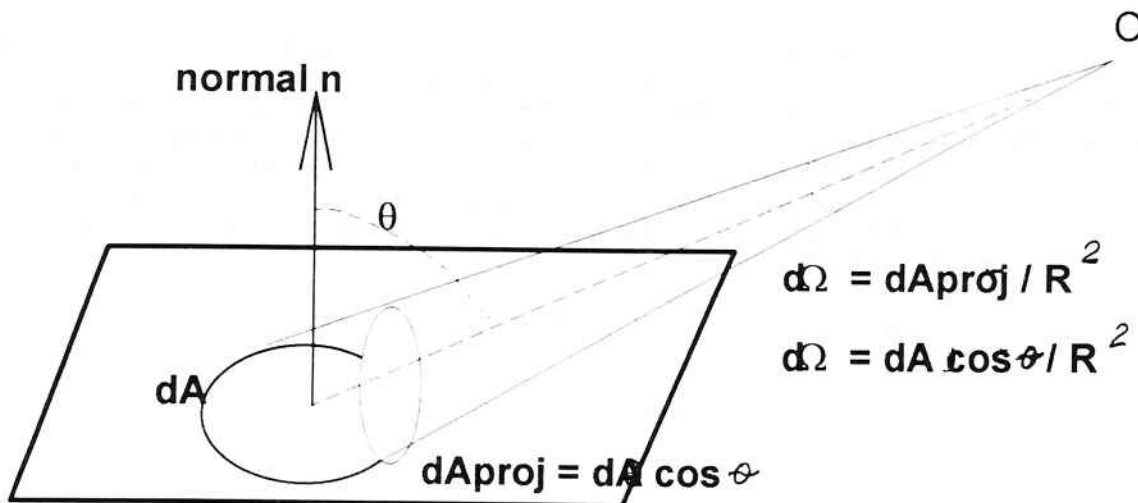


Figura 3.3. Ângulo sólido para área infinitesimal não esférica.

A figura 3.4. ilustra um fluxo luminoso atingindo uma superfície, e notamos que neste conceito não há nada que distinga os raios luminosos quanto a origem ou direção. Além disso o fluxo total pode ser de mais de uma fonte, valendo o princípio da superposição.

O conceito de iluminamento independe do comprimento de onda da luz incidente e da sua direção. Assim um fluxo de 5 lm de luz verde ($\lambda = 550 \text{ nm}$) e um fluxo de 15 lm de luz vermelha ($\lambda = 700 \text{ nm}$), ambos incidindo com ângulos diferentes numa área de 10 m^2 , produzem um iluminamento médio nesta área de:

$$\bar{E} = \sum_j (\phi_l) / \Delta S = (5 + 15) / 10 = 2 \text{ lm}/\text{m}^2 = 2 \text{ lux}$$

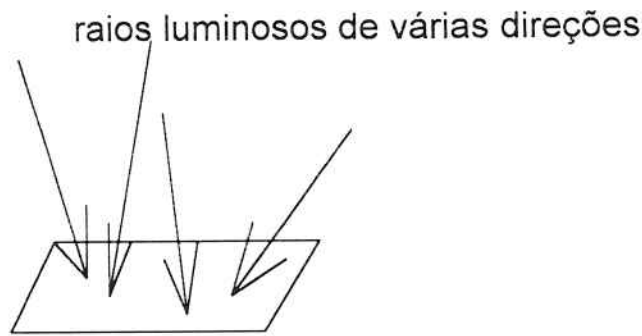


Figura 3.4. Fluxo luminoso total atingindo a área ΔS .

3.7.2. ILUMINAMENTO NUM PONTO

O iluminamento num ponto (P) é obtido tomando-se uma pequena área ao redor do ponto considerado e levando-se a expressão 3.10. ao limite:

$$E_p = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} E = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} (\Delta \phi_l / \Delta S) = d\phi_l / dS \quad (3.11)$$

Se todos os pontos de uma área forem igualmente iluminados, a área é dita sob iluminamento uniforme e escrevemos:

$$\bar{E} = E_p = E \quad (3.12)$$

Desde que o fluxo luminoso seja caracterizado em lúmens o iluminamento independe do comprimento de onda da luz incidente. Todavia se o feixe luminoso for caracterizado pela sua energia radiante, então a inclusão do fator de luminosidade implica numa diferenciação de iluminamento originada da curva espectral de eficiência luminosa. Consideremos uma parede branca na qual incide a luz de dois faróis com luzes de cores distintas, cada um colocando na superfície uma densidade uniforme de fluxo radiante de 50 W/m^2 . Os faróis iluminam regiões diferentes da parede com as cores amarelo (fator de luminosidade 0,765 6) e vermelho (fator de luminosidade 0,077 2). Os iluminamentos produzidos por cada cor seriam distintos e teriam os valores:

$$\text{Temos: } E = \Delta \phi_l / \Delta S \quad \text{mas} \quad \Delta \phi_l = e \times \Delta \phi_r = f \times 685 \times \Delta \phi_r$$

Logo:

$$E(\text{amarela}) = 0,765 \, 6 \times (685 \text{ lm/W}) \times (50 \text{ W/m}^2) = 26 \, 221,8 \text{ lm/m}^2 = 26 \, 222 \text{ lux}$$

$$E(\text{vermelha}) = 0,077 \, 2 \times (685 \text{ lm/W}) \times (50 \text{ W/m}^2) = 2 \, 644,1 \text{ lm/m}^2 = 2 \, 644 \text{ lux}$$

Ou seja, a região iluminada pelo feixe amarelo tem iluminamento cerca de dez vezes maior. Se os dois faróis incidissem simultaneamente na mesma região teríamos:

$$E(\text{total}) = 26 \, 222 + 2 \, 644 = 28 \, 866 \text{ lux.}$$

O iluminamento se refere portanto a uma densidade superficial de fluxo luminoso, distinguindo-se de uma densidade superficial de fluxo radiante por meio do fator de luminosidade.

3.7.3. MEDIÇÃO DO ILUMINAMENTO

O iluminamento médio é uma grandeza de fácil medição e isto é um fato interessante por várias razões:

- o iluminamento pode ser convertido para outras grandezas mais difíceis de serem medidas diretamente, como a intensidade luminosa;
- muitas normas são especificadas em termos de níveis de iluminamento, o que permite uma boa descrição da distribuição da luz, facilita os cálculos de projeto e permite fácil checagem no local. É por isso que muitos países adotam este parâmetro nas suas normas de iluminação de minas.

Todavia especificações em termos de níveis de iluminamento, feitas em função da utilização de objetos e ambientes, não consideram como as superfícies refletem a luz e é a luz refletida que determina o que é

visto.

Ao se fotografar minas subterrâneas com a mesma câmera fotográfica e flash, e portanto tendo-se aproximadamente os mesmos iluminamentos, os resultados podem ser muito distintos em função da refletância das superfícies. Três resultados bem diferentes ocorreriam numa mina de sal (como a da Petromisa em Sergipe), numa mina de calcário (como a mina do Baltar em Sorocaba) e numa mina de carvão (como a de Urussanga em Santa Catarina).

A medida do iluminamento é feita por instrumentos contendo células fotônicas ou fotoelétricas, as quais contêm materiais sensíveis a luz e que transformam a energia luminosa incidente em energia elétrica. Quando o fluxo radiante incide na superfície da célula ela produz uma corrente, porém a relação entre correntes produzidas por fluxos radiantes de diversos comprimentos de onda não é, infelizmente, a mesma que a relação das sensações subjetivas de brilho causadas no olho humano.

A maioria das células fotônicas respondem ao fluxo infra-vermelho, gerando uma corrente que obviamente não é proporcional ao fluxo luminoso (pois este não existe nesta faixa do espectro). Todavia colocando-se à frente da célula filtros que absorvam adequadamente os diferentes comprimentos de onda, pode-se fazer com que a curva de resposta da célula concorde razoavelmente com a curva do olho humano. Neste caso a corrente gerada pode ser tomada como uma medida do fluxo luminoso que nela incide, e se a célula for uniformemente iluminada, a corrente gerada é proporcional ao fluxo luminoso incidente por unidade de área.

3.8. LUMINÂNCIA E PERCEPÇÃO DE BRILHO

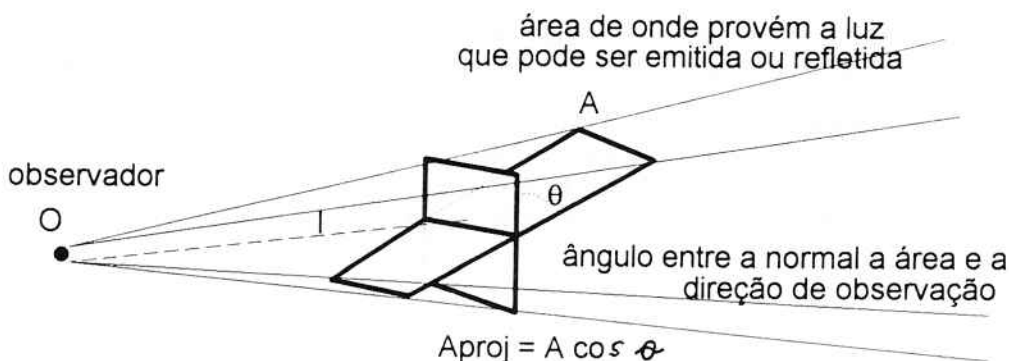
Uma fonte puntiforme é caracterizada por sua intensidade luminosa (I), e para a maioria dos projetos pode-se considerar como aproximadamente puntiformes as velas, os lampiões e as lâmpadas incandescentes. Com o advento de bulbos foscos, de quebra-luzes difusores, de lâmpadas fluorescentes e de iluminação indireta, a maioria das fontes deixou de poder ser considerada puntiforme. O conceito de intensidade luminosa de uma fonte puntual é então estendido para o conceito de luminância de uma superfície.

A luminância média de uma superfície, simbolizada por L , é definida como o quociente entre a intensidade luminosa e a área projetada da superfície de onde vem a luz como mostra a figura 3.5.

$$\bar{L} = I / A_{\text{proj}} = I / A \cos \theta \quad (3.13)$$

A partir dos parâmetros geométricos associados a definição de luminância podemos concluir que:

- a luminância é uma grandeza direcional; variando-se o ponto de observação a luminância varia tanto em função do ângulo θ como também porque a superfície pode emitir mais luz em certas direções.
- a luminância independe do motivo pelo qual a luz sai da superfície; podendo-se ter uma área emitente como a superfície de uma lâmpada, uma área refletora como um talude ou mesmo áreas transmissoras como as superfícies de lentes e luminárias.
- quanto maior a área mais se aplica o conceito de luminância média; quanto menor a área mais se tende para o valor da luminância pontual.
- no sistema internacional de unidades a luminância é expressa em candelas por metro quadrado (cd/m^2) ou nit (nt).



I = intensidade luminosa de A na
direção do observador em O

Figura 3.5. Conceito de luminância de uma superfície de área A na direção do observador O. Fontes extensas são caracterizadas por sua luminância, sejam elas fontes primárias ou secundárias de luz.

Ao ser lida, esta página se encontra praticamente sob iluminação uniforme, e como as letras impressas refletem menos luz elas parecem menos brilhantes que o papel branco. Portanto apesar do iluminamento ser uniforme a luminância desta página não o é. Em geral a luminância de uma superfície depende da direção da qual é observada, existindo superfícies perfeitamente difusas para as quais a luminância é a mesma de qualquer ponto que se a observe. Para estas superfícies, denominadas de difusores perfeitos ou superfícies Lambertianas, a luminância pode ser expressa em outra unidade que não cd/m^2 . São ótimas superfícies difusoras a neve nova e muito fofa, uma parede pintada com tinta branca e o óxido de magnésio. Para elas podemos fazer a aproximação de difusor perfeito, pois sua luminância é praticamente a mesma qualquer que seja a direção de observação.

O conceito de luminância é importante em projetos de iluminação porque é uma grandeza física que se correlaciona com a percepção subjetiva de "brilho".

A simplicidade da equação 3.13. encobre uma série de considerações importantes que podem não serem percebidas, e vamos analisa-la com maior detalhe variando isoladamente os seguintes fatores: a intensidade I , a área A , a distância de observação e a direção de observação.

A. Variação apenas da intensidade luminosa

Seja uma lâmpada incandescente para a qual se tenha um controlador da sua intensidade luminosa; a medida que se diminui a intensidade diminui também a sensação de brilho que se percebe nas superfícies e pela equação 3.15. também diminui a luminância.

B. Variação apenas da área

Sejam dez velas iguais, distribuídas em $10 \times 10 \text{ cm}^2$ numa situação e distribuídas em outra situação em uma área de 1 m^2 . Se as observarmos de uma distância fixa (como 30 m), em ambos os casos temos a mesma intensidade porque a quantidade total de lúmens emitidos é aproximadamente igual. Todavia a sensação de brilho é maior para a área menor e pela equação 3.15 o mesmo ocorre com a luminância (devido ao denominador da equação).

C. Variação apenas da distância de observação

Observemos uma parede de 6 m^2 às distâncias de 5 e 10 m; ao nos afastarmos da parede ela parecerá menor mas não sua luminância pois a percepção de brilho permanece inalterada. Isto é expresso na equação 3.13. pela independência da distância.

D. Variação apenas da direção de observação

Nem sempre as superfícies emissoras (ou refletoras ou transmissoras) distribuem seu fluxo uniformemente pelo espaço, de modo que a intensidade pode variar com a direção de observação. Além disso, a área projetada varia com o ângulo de observação. Por causa desta dupla influência não se pode tirar conclusões gerais, podendo-se apenas afirmar que a direção de observação é um parâmetro influente que deve ser estudado em cada caso particular.

Das considerações anteriores pode-se perceber que existe uma correlação entre luminância e percepção de brilho, mas que esta correlação não é absoluta. Ela é válida apenas quando se tem as mesmas condições de observação visual, o que pode ser ilustrado do seguinte modo. Se olharmos para vários objetos sob um mesmo nível de iluminação de fundo, poderemos ordená-los segundo nossa percepção de brilho. Esta ordenação coincidiria com aquela que seria obtida se medíssemos experimentalmente as luminâncias. Por outro lado, se observarmos uma lanterna de capacete mineiro numa galeria sem iluminação de rede e em um dia claro, ela não parecerá tão brilhante na superfície mas sua luminância é a mesma nos dois locais. O que acontece é que os estados de adaptação do olho humano aos níveis de iluminação em subsolo e a céu aberto são distintos, ocorrendo portanto uma alteração da correlação entre percepção de brilho e luminância.

3.9. REFLETÂNCIA

A refletância é uma medida da eficiência de uma superfície em devolver a luz incidente; se for nula toda a luz é absorvida e se for unitária toda luz é refletida.

Um espelho praticamente reflete toda a luz incidente e sua refletância pode ser considerada para fins práticos como unitária. O chamado corpo negro perfeito (radiador integral) absorve toda a radiação que nele incide e tem então uma refletância nula. Uma boa aproximação deste corpo negro pode ser obtida com um orifício numa caixa pintada de preto por dentro, pois praticamente toda luz que entra pelo orifício não sai mais.

Bons projetos de iluminação mineira requerem o conhecimento da refletância do ambiente porque nós vemos é através da luz refletida, e em geral nas minas a maior parte da luz incidente é absorvida. A

quantificação da luz refletida torna possível que se compense as perdas por absorção, e esta compensação pode ser efetuada pelo sistema de iluminação ou pela alteração da superfície refletora.

Didaticamente podemos classificar a reflexão superficial em seis tipos principais: especular, especular com difusão preferencial, especular com difusão perfeita, difusão com componente especular e difusão com espalhamento. Esta nomenclatura é ilustrada na figura 3.6. onde se apresenta também os correspondentes termos em inglês apesar de não existir uma terminologia rigidamente definida a respeito.

Os diagramas da figura 3.6. são muito simplificados pois ilustram apenas um raio incidente, enquanto que na realidade poderíamos ter um cone de luz incidente ou ela poderia provir de todas as direções. Além disso poderíamos estar medindo toda a luz refletida, ou uma parte dela numa dada direção ou ainda apenas um feixe de raios.

Na literatura não há concordância absoluta quanto aos tipos de reflexo encontradas em minas subterrâneas. Trotter afirma que na maioria das minas secas as superfícies são difusoras com componente especular, enquanto que para superfícies poeirentas e pulverulentas a reflexo se aproximaria da difusão perfeita. Já Crooks e Peay afirmam que a maioria das rochas e minerais quando secos são difusores perfeitos; quando úmidos a maior parte se tornaria difusora com espalhamento e uma pequena parte se tornaria difuso-especular. Esta última seria potencialmente a mais provável causadora de ofuscamento, e portanto a umidade é um fator gerador de ofuscamento principalmente se as superfícies estiverem bem úmidas e intensamente iluminadas.

A tabela 3.1. contém dados de refletância levantados por Trotter, podendo-se observar que a refletância do carvão é bem baixa estando em geral na faixa de 3 a 6%.

Tabela 3.1. Refletâncias obtidas em minas de carvão canadenses, próximas a Sidney, Nova Escócia.

mina	método de lavra	refletância	d.p. (#)	condições gerais
Prince parede 1-E	frente ampla e frente curta, em reco	0,058	0,005	superfície seca, limpa, áspera, acamamento não visível
# 26	frente ampla em avanço	0,042	0,011	superfície seca, limpa, lisa, acamamento bem visível, e definido
Lingam	frente ampla em avanço	0,035	0,011	superfície seca ou úmida, limpa, pó variável
Prince parede 2-E	frente ampla e curta, em reco	0,043	0,009	superfície úmida, empoeirada, áspera, acamamento não visível

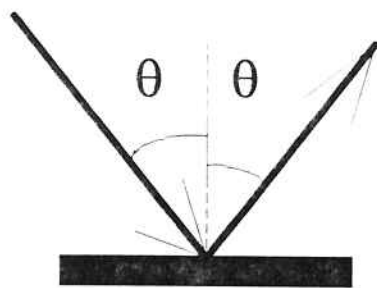
(#) desvio padrão

4. METODOLOGIAS DE PROJETO

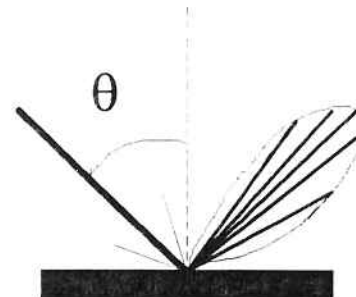
4.1. CARACTERÍSTICAS DO PROJETO MINEIRO

A iluminação de uma mina subterrânea apresenta peculiaridades derivadas do tipo de atividade industrial e das rudes condições ambientais. Com relação a iluminação de uma casa algumas comparações interessantes são as seguintes:

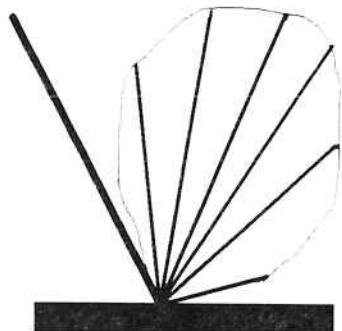
- numa casa deve-se apagar as luzes ao sair, numa mina não;
- em situações de emergência numa casa se utiliza fósforos e velas, mas nunca numa mina. Nesta se usa lâmpadas portáteis de emergência.



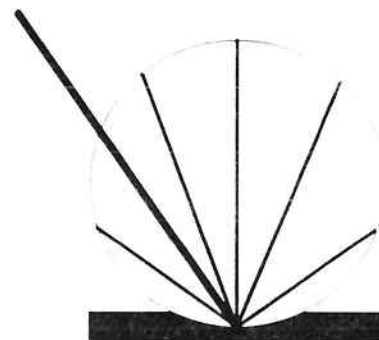
a. especular obtida por espelho ou superfície metálica bem polida



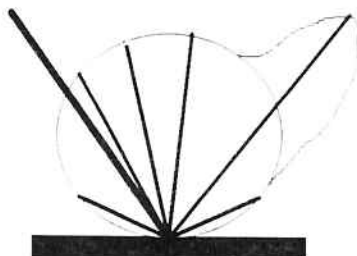
b. especular com difusão preferencial (especular com pequena componente de difusão). Exemplo são tintas "brilhantes" e "semi-brilhantes".



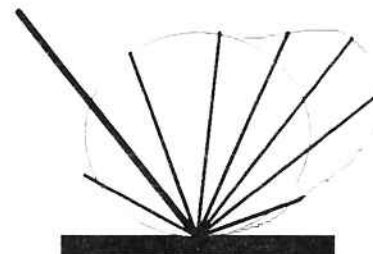
c. especular com espalhamento ("specular and spread").



d. difusão perfeita ("matte diffuse"); exemplos são cal, gunita, tintas foscas e a neve fofa.



e. difusão com componente especular; por exemplo a superfície polida de carvão.



f. difusão com espalhamento ("diffuse-spread").

Figura 3.6. Tipos básicos de reflexão superficial.

As superfícies difusoras não são lisas mas sim "ásperas", e podem ser usadas para melhorar visualmente o ambiente quanto ao problema de ofuscamento. Notemos que no caso de difusão perfeita temos em realidade uma esfera, aqui representada por uma circunferência no plano do papel. Fatores como textura da superfície e comprimento de onda também influenciam a refletância.

c. na rede mineira deve-se evitar voltagens superiores a 127 volts a menos que as linhas estejam numa altura superior a 2,5 metros;

d. ao faltar luz numa casa é possível se locomover devagar e com segurança devido à penumbra oriunda da luz exterior; em subsolo a escuridão é total sendo perigoso qualquer locomoção.

As rudes condições ambientais encontradas numa mina incluem as seguintes:

- a. existência de poeira que diminui a transmissão atmosférica e suja as luminárias;
- b. atuação da umidade e das altas temperaturas favorecendo a corrosão;
- c. ocorrência de choques mecânicos devido a mobilidade dos equipamentos, máquinas e pessoal;
- d. existência de gases e poeiras explosivas;
- e. geometria e dimensões das aberturas que favorecem situações de ofuscamento;
- f. baixas refletâncias das superfícies das paredes, pisos e tetos.

O conjunto destas condições especiais faz com que um projeto de iluminação de uma mina tenha componentes de ciência e de arte. Trotter é da opinião que é melhor um engenheiro de minas aprender os fundamentos de iluminação do que um engenheiro elétrico ou mecânico tentar se adaptar as inusitadas condições mineiras.

Em subsolo alguns parâmetros podem ser alterados enquanto outros não, e é difícil a comparação entre os valores de projeto e os reais porque simplesmente não existem medidas fotométricas precisas numa mina. Cálculos muito precisos não tem portanto sentido e é comum que para se enquadrar um ambiente em alguma norma se utilize adotar uma margem de segurança de 100% em vez dos valores comuns de 10 a 20%. Por causa disso um bom projeto de iluminação de mina pode ser feito com uma calculadora não sendo necessário nem justificável recorrer-se aos sofisticados programas existentes no mercado.

4.2. DIFICULDADES INERENTES AO AMBIENTE MINEIRO

As maiores dificuldades na elaboração e execução de um projeto mineiro de iluminação estão associadas à:

- a. dificuldades de instalação;
- b. variações de voltagem;
- c. padronização imperfeita das lâmpadas;
- d. alteração da inclinação e orientação das luminárias;
- e. alteração dos fatores de manutenção;
- f. absorção atmosférica;
- g. variações da produção luminosa com o tempo.

4.2.1. DIFICULDADES DE INSTALAÇÃO

O padrão de distribuição de luz e a área iluminada variam em função do local de colocação das luminárias, e numa mina o local de instalação quase nunca é o especificado no projeto. As luminárias são normalmente colocadas nas paredes ou suspensas dos tetos arqueados e os furadores tem a tendência a perfurar nos locais onde a ancoragem possa ser melhor fixada e não exatamente onde estão as marcações. Além disso as superfícies internas das vias subterrâneas são irregulares e estas irregularidades não estão nas plantas utilizadas pelos projetistas.

4.2.2. VARIAÇÕES DE VOLTAGEM

Os dados fornecidos pelos fabricantes para as diversas fontes luminosas estão associados a uma apropriada voltagem para cada lâmpada. Todavia numa mina as variações de voltagem são muito comuns, principalmente devido ao alçamento de esquite carregado, à passagem de caminhões elétricos, à entrada em operação do sistema de bombeamento, ao funcionamento dos britadores e aos equipamentos elétricos móveis. Operários treinados podem perceber pela incandescência das lâmpadas de filamento quando o motor do guincho é exigido ao máximo durante a aceleração de ascensão do esquite carregado.

Excessos de voltagem podem também ocorrer com certa frequência causando um aumento do número de lúmens emitidos e uma diminuição da vida útil das lâmpadas. No caso das fontes a vapor de mercúrio voltagens menores que as especificadas geram menores temperaturas dos eletrodos aumentando a dificuldade de re-início do arco a cada meio ciclo, o que pode causar perda do material emitido pelo eletrodo e o conseqüente enegrecimento das paredes do tubo.

4.2.3. PADRONIZAÇÃO IMPERFEITA DAS LÂMPADAS

A distribuição espacial da luz emitida depende da situação dos componentes de controle interno das luminárias, tais como imperfeições nos refletores, pequenas alterações nas dimensões e variações na localização da fonte dentro da lâmpada. Assim duas luminárias vendidas como idênticas podem gerar distribuições bastante diferenciadas.

No caso de lâmpadas de descarga de alta intensidade ("HID") o reostato pode induzir a lâmpada a operar

com uma potência diferente da especificada. A influência do reostato e variações de voltagem podem gerar desvios de 40% com relação a potência nominal da lâmpada.

4.2.4. ALTERAÇÃO DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO DA LUMINÁRIA

Em geral para as luminárias de lâmpadas HID a sua inclinação após a instalação pode se tornar crítica. Uma alteração de apenas um grau pode gerar uma grande mudança na distribuição da luz emitida e estas normalmente derivam do fato de que o local de instalação não coincide com o local especificado no projeto. Por isso o próprio projetista deve inspecionar a instalação.

4.2.5. ALTERAÇÃO DOS FATORES DE MANUTENÇÃO

Fator importante nos projetos mineiros é o empoeiramento das luminárias com o decorrer do tempo e que pode reduzir em mais de 50% o fluxo útil emitido. A poeira reduz o fluxo absorvendo luz e a transformando em calor e também pode influir na distribuição espacial.

A influência da poeira é introduzida no projeto por meio de um fator de manutenção (FM), um número empírico variável de mina para mina e mesmo dentro de uma mesma mina. O valor numérico do fator de manutenção depende da quantidade de poeira existente na mina, do grau de umidade e da presença de água, da velocidade do fluxo de ar e da maior ou menor proximidade de focos geradores de poeira (britadores, realces de detonação, locais de carga, faces extrativas em frente longa por mineradores contínuos, etc).

Minas de carvão são muito empoeiradas e a presença de água transforma o pó em lama. A velocidade do fluxo de ar é importante porque pode impedir que a poeira se deposite em camadas. O fator de manutenção varia também em função da frequência de limpeza das luminárias, que pode variar desde mensal até apenas quando o bulbo queima. Os fatores de manutenção variam desde 0,9 a 0,3 para os casos mais desfavoráveis.

4.2.6. ABSORÇÃO ATMOSFÉRICA

Numa mina com atmosfera limpa a absorção varia entre 2 a 5% mas em algumas situações críticas ela pode ser bem maior. Bons sistemas de ventilação mantêm a atmosfera razoavelmente limpa mas após detonações ou no encontro de correntes de ar quente úmido com ar frio pode-se ter altos níveis de fumaça ou neblina. Nestas situações pode-se assumir uma absorção que pode atingir valores de dezenas de por cento e baixar o fator de manutenção para valores de 0,5.

4.2.7. VARIAÇÕES DA PRODUÇÃO LUMINOSA

Mesmo para condições de absoluta limpeza e constância de voltagem o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada varia com o tempo. Para algumas lâmpadas como as HID a emissão logo no início da vida útil pode ser maior que o valor indicado pelo fabricante, mas após cerca de 3 meses sempre se tem um decaimento do fluxo. Neste contexto os principais termos usados são:

- a. fluxo luminoso inicial - fluxo emitido pela lâmpada após 100 horas de utilização;
- b. fluxo luminoso de projeto - fluxo emitido após um quarto da vida útil nominal da lâmpada;
- c. fluxo luminoso médio - fluxo médio emitido durante a vida econômica da lâmpada;
- d. fluxo luminoso de manutenção - em geral expresso como uma porcentagem do fluxo inicial e relativo a 70% da vida mediana.

Assim para uma lâmpada de sódio de alta pressão de 400 W que tenha vida mediana de 20 000 horas, 70% deste valor representa 14 000 horas. Se para 14 000 horas o fluxo emitido é de 85% do inicial então o fluxo de manutenção é dito de 85%.

4.3. MÉTODO PONTO A PONTO

Neste método se estima o iluminamento ou a luminância no chamado plano de trabalho a partir das distribuições de fluxo das diversas fontes e das leis que relacionam a propagação e a reflexo deste fluxo.

4.3.1. TEORIA BÁSICA

O método ponto a ponto se baseia nas leis do cosseno e do inverso do quadrado da distância, que convenientemente agrupadas do origem a chamada lei do cosseno ao cubo.

A lei básica do iluminamento é expressa por:

$$E(P) = I / R_p^2 \quad (4.1)$$

onde:

$E(P)$ = iluminamento no ponto P considerado, contido num plano perpendicular com relação a reta definida por P e a fonte puntual, em lx;
 I = intensidade da fonte na direção do ponto P, em cd;
 R_p = distância entre a fonte puntual e o ponto P, em m.

Esta lei é aplicável para fontes puntuais, com luz atingindo diretamente o ponto considerado e não havendo absorção atmosférica. Ela serve como boa aproximação quando se tem ar limpo, as refletâncias das superfícies das rochas são bem baixas, as medidas são efetuadas a uma certa distância da fonte e as lâmpadas possam ser aproximadas por fontes puntuais. Como em geral os valores medidos são relativos a um plano horizontal de trabalho e a luz o atinge obliquamente, deve-se introduzir a correção expressa pela lei do cosseno. A fórmula (4.1) se torna:

$$E(P, \theta) = I(\theta) \cos \theta / R_p^2 \quad (4.2)$$

onde:

$E(P, \theta)$ = iluminamento no ponto P do plano de trabalho inclinado de θ com relação a direção unindo a fonte ao ponto P, em lx;

θ = ângulo entre a normal ao plano de trabalho e a direção fonte-ponto P.

A medida da distância R_p nem sempre é fácil e numa via subterrânea de altura h pode ser mais conveniente se medir distâncias horizontais. A figura 4.1. ilustra uma fonte luminosa colocada na linha média do teto de uma galeria.

Da geometria temos:

$$h / R_p = \cos \theta \quad \text{ou} \quad R_p^2 = h^2 / \cos^2 \theta \quad (4.3)$$

Introduzindo (4.3) em (4.2) obtemos:

$$E(P, \theta) = \{ I^3(\theta) \cos \theta \} / h^2 \quad (4.4)$$

A expressão (4.4) representa a chamada lei do cosseno ao cubo.

4.3.2. EFEITO DA LUZ DIRETA

Para uma fonte luminosa instalada a uma altura h do piso, para cada ponto deste obtemos um ângulo θ . Com θ , e a curva de intensidade luminosa da fonte obtemos os valores de $I(\theta)$ e do cosseno de θ . Com a expressão 4.4, é então possível calcular o iluminamento no ponto considerado.

Muitas normas são definidas em termos de lux incidentes mas a tendência moderna é se usar como critério a quantidade de luz que sai da superfície, ou seja a luz refletida. Quando a superfície for uma superfície lambertiana (difusora perfeita) então é válida a relação entre as diferentes unidades de luz refletida:

$$L' = \pi L \quad (4.5)$$

onde:

L' = luminância em lux;

L = luminância em nit.

Como a refletância relaciona luz incidente com luz refletida temos:

$$L' = r E \quad (4.6)$$

De (4.5) e (4.6) obtemos:

$$L = r E / \pi \quad (4.7)$$

Finalmente substituindo o iluminamento em (4.7) obtemos:

$$L(P) = r [I(\theta) \cos^3 \theta] / \pi h^2 \quad (4.8)$$

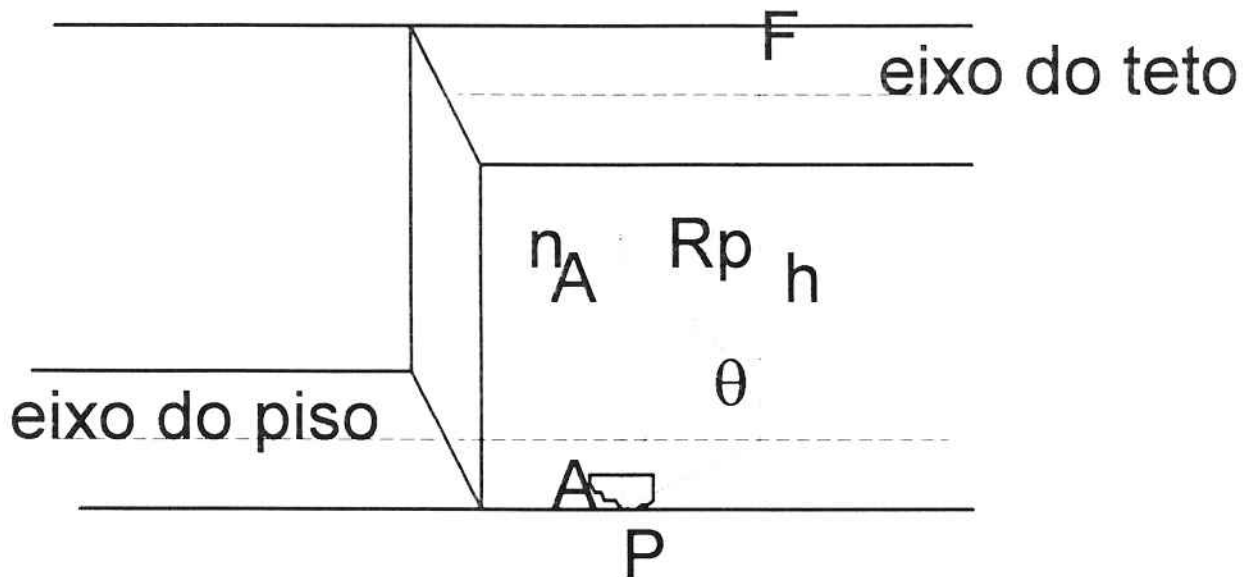


Figura 4.1. Disposição geométrica de galeria de mina adequada para aplicação da lei do cosseno ao cubo.

As expressões (4.4) e (4.8) são as duas expressões teóricas essenciais ao método ponto a ponto, permitindo o cálculo do iluminamento ou da luminância em qualquer ponto do plano de trabalho. Elas permitem o dimensionamento do espaçamento das lâmpadas de modo a se obter valores mínimos dentro das normas e também a estimativa da uniformidade da distribuição da luz.

Como a atmosfera absorve luz é introduzido um fator de absorção (FA) e as expressões se tornam:

$$E(P, \theta) = FA \cdot I^3(\theta) \cos^2 \theta / h \quad (4.9)$$

$$L(P) = (FA/\pi) \cdot r \cdot [I^3(\theta) \cos^2 \theta / h] \quad (4.10)$$

O fator de absorção atmosférica para minas limpas é da ordem de 0,95 a 0,98 mas em locais críticos pode ser bem menor, devendo ser determinado para cada caso.

As expressões (4.9) e (4.10) são aplicáveis apenas quando se tem luz direta ou quando a luz indireta provindo de reflexões nas demais superfícies é desprezível.

Uma situação típica em que elas são aplicáveis seria o da iluminação de uma via de transporte em mina carbonífera, com as luminárias colocadas no teto e com a maior parte do fluxo orientada para o piso. Nesta situação a maior parte das paredes e teto estaria "na sombra" e a contribuição da luz indireta (via reflexões) proviria da luz refletida pelo piso e em seguida novamente refletida pelas paredes e teto. Para superfícies de carvão esta contribuição de luz indireta é desprezível, e para os casos de escoramento de madeira e caiamento de branco medidas efetuadas indicaram uma contribuição de 10 a 15%.

A deposição de pó de carvão nas vias de transporte pode ser muito intensa e uma razoável porcentagem do fluxo direto pode ser perdida em pouco tempo. Medidas efetuadas junto ao ponto de descarga de material no pé do poço de produção indicaram a perda de 17,5% da luz direta no plano de trabalho em pouco tempo. Portanto nestas situações o método ponto a ponto para luz direta é aplicável e a luz indireta pode ser considerada como um bônus minimizador dos efeitos de deposição de poeira.

De modo geral para certas orientações das luminárias e refletâncias das superfícies inferiores a 0,2 pode-se usar o método ponto a ponto considerando apenas a contribuição da luz direta.

4.3.3. CONTRIBUIÇÃO DA LUZ INDIRETA

A grandeza luminância leva em consideração a luz que sai de uma superfície e que nos dá as sensações de brilho e contraste. A colocação de uma fonte luminosa numa abertura subterrânea faz com que a luz seja parcialmente refletida pelo piso, pelas paredes e pelo teto, e estas reflexões continuam indefinidamente. Em espaços confinados por superfícies altamente refletoras o efeito final pode ser um maior número de lúmens refletidos pelas superfícies rochosas com relação aos lúmens emitidos originalmente pela fonte. Nestes casos é importante se considerar a contribuição da luz indireta no projeto e uma estimativa desta contribuição é apresentada a seguir.

Se indicarmos por Θ o fluxo original emitido por uma fonte e se r representar a refletância da rocha, então o total de lúmens gerados por reflexão nas superfícies será dado pela somatória:

$$Lu(S) = r \Theta + r^2 \Theta + r^3 \Theta + r^4 \Theta + \dots \quad (4.11)$$

Ou:

$$Lu(S) = r \Theta \{ 1 + r + r^2 + r^3 + r^4 + r^5 + \dots \} \quad (4.12)$$

A série da expressão (4.12) é uma progressão geométrica de razão menor que um pois o domínio da refletância é:

$$0 < r < 1$$

O limite desta série é dado por:

$$1 + r + r^2 + r^3 + \dots = 1/(1-r) \quad (4.13)$$

Introduzindo (4.13) em (4.12) obtemos:

$$Lu(S) = r \Theta / (1-r) \quad (4.14)$$

A expressão (4.14) fornece os lúmens oriundos das inter-reflexões pelas superfícies internas e a tabela 4.1. apresenta a influência da refletância sobre esta grandeza.

Na prática os valores são menores que os apresentados na tabela (4.1) devido a absorção atmosférica e ao fato da área em análise nunca ser totalmente fechada por superfícies refletoras de modo que uma parte da luz escapa do ambiente. Esta tabela mostra também claramente a eficiência de se aumentar as refletâncias das paredes; aumentando-se a refletância de 0,2 para 0,6 (fator de 3) o fluxo associado a reflexão passa de 0,25 para 1,5 (fator de 6).

Para valores da refletância inferiores a 0,2 o benefício oriundo das inter-reflexões é pequeno e pode ser desprezado nos cálculos. Todavia para valores superiores a 0,2 a contribuição é maior e já se justifica sua inclusão nos cálculos.

Tabela 4.1. Valores do fluxo luminoso devido a múltiplas reflexões em função da refletância.

refletância (r)	fluxo luminoso (Lu)
0,9	9,0
0,6	1,5
0,4	0,33
0,2	0,25
0,1	0,11
0,05	0,05

As expressões (4.9) e (4.10) se tornam:

$$E(P, \theta) = FA [I(\theta) \cos^3 \theta] / h^2 \quad (4.15)$$

$$L(P) = (FA/\pi) (r/(1-r)) [I(\theta) \cos^3 \theta] / h^2 \quad (4.16)$$

4.4. MÉTODO DOS LÚMENS

O método dos lúmens foi criado em 1915 por Harrison e Anderson e é também denominado de método do coeficiente de utilização. Ele se baseia nas características dos fluxos de várias luminárias os quais são subdivididos em diversas componentes; posteriormente através de observação em interiores típicos são estimadas as porcentagens de cada componente que incide no plano de trabalho. Estas porcentagens definem os chamados coeficientes de utilização (CUT), que relacionam o fluxo útil com o fluxo total emitido pela fonte.

Este método é útil para se verificar se o iluminamento ou a luminância de uma área estão dentro dos limites prescritos na lei e a sua vantagem é que não fornece informações sobre as variações de iluminamento em diferentes pontos.

4.4.1. FORMULAÇÃO BÁSICA

As expressões matemáticas que sintetizam este método são as seguintes:

$$E = [n \Phi / S] \{FM FA CUT\} \quad (4.17)$$

$$L = [r/(1-r)] [n \Phi / S] \{FM FA CUT\} \quad (4.18)$$

onde:

E = iluminamento médio no plano de trabalho, em lx;

L = luminância média do plano de trabalho, em nt;

n = número de luminárias;

Φ = fluxo luminoso nominal de cada lâmpada, em lm;

S = superfície a ser iluminada, em m²;

r = refletância difusa da superfície;

FM = fator de manutenção;

FA = fator de absorção atmosférica;

CUT = coeficiente de utilização, que exprime o quociente entre lúmens no plano de trabalho e lúmens nominais da lâmpada.

Existe uma estreita correlação entre n e Φ . Sendo n grande Φ pode ser pequeno e o espaçamento das luminárias é menor. Uma regra prática utilizada em minas é de se ter espaçamento tal que nenhuma luminária contribua com mais de 50% do iluminamento no plano de trabalho. Nestas condições bulbos queimados podem ser tolerados por curtos intervalos de tempo.

Em minas a pequena altura das luminárias implica em fatores de absorção também pequenos e a não ser em situações especiais ele pode ser tomado como 0,95 ou 0,98. Situações especiais ocorrem em pontos de carregamento e descarregamento, e junto a máquinas com fumos de exaustão. Nestes casos um valor mais baixo deve ser estimado.

Na prática são possíveis várias combinações que satisfaçam as expressões (4.17) e (4.18), envolvendo altura das luminárias, espaçamento, tipos de lâmpadas, sistemas de distribuição e reflexão do fluxo. O arranjo ótimo pode ser mais rapidamente obtido por meio de programas computacionais e quando vários arranjos são satisfatórios a decisão final se baseia em critério econômico.

4.4.2. FATOR DE MANUTENÇÃO

O fator de manutenção reflete o inconstante desempenho de um sistema de luminárias devido a deposição de poeira. Esta deposição reduz a transparência das luminárias e também a refletância das superfícies. Em ambientes industriais não mineiros, com uma atmosfera limpa e limpeza das luminárias a cada 6 semanas, um valor médio adotado para o fator de manutenção é 0,8. Minas em geral apresentam valores inferiores e o valor de 0,5 é aplicável em muitas situações.

A tabela 4.2. apresenta alguns valores utilizáveis em projeto. Para ambientes muito empoeirados e limpeza apenas quando da substituição de bulbos queimados o fator de manutenção pode atingir ao valor de 0,3. Isto significa que próximo ao fim de sua vida útil menos de um terço da luz emitida por uma lâmpada é efetivamente usada para iluminar o plano de trabalho. Como a taxa de perda de luz útil decai com o tempo, a estratégia de limpeza deve envolver limpeza freqüente ou nenhuma limpeza.

Os fatores de manutenção devem preferencialmente ser obtidos para a situação real de cada mina, efetuando-se levantamentos imediatamente antes e depois da limpeza das luminárias. A comparação das respectivas curvas isolux permite ao projetista ter uma estimativa da quantidade de luz perdida devido a poeira e sujeira. Quando isto não for factível então utiliza-se os valores da tabela 4.2.

4.4.3. COEFICIENTE DE UTILIZAÇÃO

Este coeficiente é necessário porque a luminária não direciona todo o fluxo emitido para a superfície em análise, e parte deste incide no teto e nas paredes. Quando um dos critérios de projeto se baseia em níveis mínimos de iluminamento ou luminância no piso, deve-se considerar então apenas a parte do fluxo que incide diretamente no piso.

O coeficiente de utilização (CUT) é o quociente entre lúmens que atingem a área considerada e lúmens emitidos pela lâmpada, e é portanto uma avaliação da eficiência direcional do sistema de iluminação. Ele depende de fatores como a razão entre fluxos emitidos para cima e para baixo pela luminária, a forma da curva de distribuição de intensidade luminosa da lâmpada, as dimensões da área iluminada, e as refletâncias das superfícies.

O coeficiente de utilização pode ser apresentado de várias formas e em geral as tabelas se baseiam no chamado índice de área ("room index") que é definido pela expressão:

$$I(\text{área}) = \{ L \times C \} / \{ L + C \} H \quad (4.19)$$

onde: L = largura da área a ser iluminada, em m;

C = comprimento da área a ser iluminada, em m;

H = altura da luminária acima do plano de trabalho, em m.

Da expressão (4.19) se percebe que as vias mineiras que são estreitas e longas, e com alturas de luminária pequenas, tem índices relativamente menores que áreas de forma aproximadamente quadrada. Índices de área menores indicam coeficientes de utilização menores pois refletem maiores dificuldades de se iluminar a área de interesse. A tabela 4.3 apresenta alguns valores do índice de área para 3 tipos de luminária. Esta tabela mostra que existem grandes diferenças no CUT devido a diferentes características das luminárias, principalmente quanto a habilidade de direcionar o fluxo luminoso. A melhor luminária utilizada com um alto índice de área coloca apenas 2/3 da luz emitida aonde se deseja. Um aumento da refletância da rocha de 0,1 para 0,3 acrescentaria apenas 0,02 aos valores da tabela; este pequeno aumento mostra que nos cálculos de iluminação de minas a luz adicional oriunda de reflexões (em superfícies rochosas não tratadas) pode ser normalmente desprezada.

Tabela 4.2. Fatores de manutenção (FM) para minas subterrâneas.

condições ambientais	frequência de limpeza	FM
muita poeira	mensal	0,8
	semestral	0,6
	anual	0,4
	apenas quando da troca de bulbo queimado	0,3
moderadamente empoeirada	mensal	0,9
	semestral	0,8
	anual	0,7
	apenas quando da troca de bulbo queimado	0,6

Existem muitas tabelas do coeficiente de utilização para os padrões industriais e comerciais comuns, ou seja salas e salões amplos e de forma retangular. Esta geometria é aproximada pelas grandes câmaras subterrâneas mas não pela maioria das vias que tem pequena altura, pequena largura (entre 3 e 7 m) e grande comprimento. Além disso as secções das galerias podem ser quadradas, circulares, elípticas ou ovaladas. Quando as paredes são tratadas estas formas atuam como refletores e a posição relativa da luminária na secção se torna importante. Quando a altura e posição da luminária está definida os níveis de iluminação são melhor estimados na mineração pela metodologia ponto a ponto.

4.5. ALTERAÇÃO DE PARÂMETROS DE PROJETO

Da análise das fórmulas utilizadas pelos métodos ponto a ponto e dos lúmens pode-se perceber que os níveis de iluminação e de luminância podem ser incrementados por diversos procedimentos. Entre eles temos o aumento da refletância da rocha, o uso de lâmpadas de maior potência, o agrupamento de várias lâmpadas, o aumento do fator de manutenção (via limpezas mais frequentes), o aumento do fator de absorção (via melhor ventilação para decréscimo de poeira ou neblina), e aumento do coeficiente de utilização (pela melhor distribuição da luz na luminária).

Um dos parâmetros mais influentes é a refletância e é por causa dele que algumas minas são bem mais fáceis de iluminar que outras. Dentre as minas "mais fáceis" temos as de sal, de potássio, de gipso, de talco, de ouro quando a encaixante é quartzo, e em geral as de pegmatito. Via de regra as rochas ácidas, ricas em alumínio e sílica, tem refletâncias mais altas que as rochas básicas, ricas em ferro e magnésio. As minas mais difíceis de iluminar são as de carvão mas são difíceis também minas metálicas associadas a gabros e outras rochas escuras.

Nas minas com rochas escuras o aumento da refletância das superfícies é um importante fator a ser considerado no projeto. O aumento da refletância de superfícies internas de aberturas subterrâneas pode ser obtido por caiação, por pintura ou por outros procedimentos não associados somente com problemas de iluminação.

Um dos processos mais simples e efetivo é a caiação, que quando recém aplicada pode gerar uma refletância na faixa de 0,70 a 0,95. Com o tempo este valor diminui e a tabela 4.4. apresenta valores obtidos para algumas minas canadenses para as situações antes de cair e dois anos após a caiação. As áreas caiadas incluíam estações junto a poços, vias principais de transporte, refeitórios, rampas, garagens, oficinas, salas de britagem, galerias com correias transportadoras, salas de guincho, etc.

Tintas metálicas devem ser evitadas porque tem menor refletância e geram uma alta componente especular, devendo-se optar por tintas brancas sem brilho. Estas tem refletâncias próximas da caiação recém aplicada, e apesar de relativamente mais caras que a cal duram mais e apresentam pequena diminuição da refletância com o tempo. A periódica lavagem das paredes pintadas ou caiadas é importante para remoção de pó e sujeira.

Tabela 4.3. índices de área I(área) e coeficientes de utilização (CUT) para três tipos de luminária. A refletância da rocha foi assumida como 0,10. A refletorizada direciona a maior parte do fluxo para baixo, a com bulbo difuso emite fluxo em todas as direções de modo quase uniforme, e a fluorescente apresenta uma superfície refletora por cima.

índice de área (I)	CUT para diferentes tipos de luminária		
	refletorizada	bulbo difuso	fluorescente
0,6	0,33	0,16	0,23
0,8	0,40	0,22	0,28
1,0	0,45	0,26	0,32
1,25	0,49	0,29	0,35
1,5	0,53	0,32	0,38
2,0	0,57	0,36	0,41
2,5	0,60	0,40	0,43
3,0	0,62	0,43	0,44
4,0	0,64	0,46	0,46
5,0	0,66	0,48	0,47

Um dos processos mais simples e efetivo é a caição, que quando recém aplicada pode gerar uma refletância na faixa de 0,70 a 0,95. Com o tempo este valor diminui e a tabela 4.4. apresenta valores obtidos para algumas minas canadenses para as situações antes de cair e dois anos após a caição. As áreas caiadas incluíam estações junto a poços, vias principais de transporte, refeitórios, rampas, garagens, oficinas, salas de britagem, galerias com correias transportadoras, salas de guincho, etc.

Tintas metálicas devem ser evitadas porque tem menor refletância e geram uma alta componente especular, devendo-se optar por tintas brancas sem brilho. Estas tem refletâncias próximas da caição recém aplicada, e apesar de relativamente mais caras que a cal duram mais e apresentam pequena diminuição da refletância com o tempo. A periódica lavagem das paredes pintadas ou caiadas é importante para remoção de pó e sujeira.

Tabela 4.4. Valores de refletância de superfícies mineiras antes da caição e após dois anos.

mina	refletância	
	antes da cair	dois anos após cair
Brunswick	0,25 a 0,30	0,40 a 0,60
Strathcona	0,25 a 0,32	0,35 a 0,70
Flin Flon	0,13 a 0,20	0,25 a 0,70

A utilização de cimento em geral também melhora a refletância. Um piso cimentado em geral apresenta maior refletância que a rocha encaixante além de melhorar o movimento e diminuir o desgaste de pneus. O concreto projetado nas paredes além de aumentar a resistência estrutural provoca um aumento da luminância. Em ambos os casos periódicas limpezas devem ser executadas.

Em alguns países existem normas definindo valores mínimos de refletância para as partes externas de equipamentos móveis, e no caso dos USA o valor é de 0,30. Este limite mínimo é bem maior que por exemplo o valor de 0,08 relativo a refletância do cinza metálico utilizado em certos equipamentos de abertura de galerias.

O uso de fitas refletoras com refletância entre 0,9 e 1 é altamente recomendável nos equipamentos e nos capacetes individuais, sendo também obrigatório em certos países.

Dentro de certos limites a refletância pode ser alterada por meio da escolha da fonte de luz; emissões na faixa verde-azul típica de vapor de mercúrio tendem a fornecer refletâncias maiores que a luz monocromática amarela das lâmpadas de sódio.

5. NORMAS DE ILUMINAÇÃO PARA MINAS SUBTERRÂNEAS

5.1. ILUMINAÇÃO A CÉU ABERTO E EM SUBSOLO

Existe uma diferença fundamental entre as iluminações a céu aberto e em subsolo. Quando ocorre uma interrupção da iluminação superficial o olho em pouco tempo se acostuma a pouca claridade que normalmente permanece. Esta claridade remanescente pode ter origem em luzes distantes, no luar ou na luz das estrelas, e permite que se veja pelo menos as formas dos objetos. Por outro lado a interrupção da iluminação em subsolo gera um ambiente totalmente escuro, ao qual o olho nunca se acostuma apesar de psicologicamente se esperar por isso. Na escuridão total quase nada se pode fazer, perdendo-se a noção de direção, de sentido e de tempo e sendo perigoso qualquer movimentação.

Portanto as prioridades das iluminações superficial e subterrânea são diferentes. Na superfície a prioridade é se iluminar bem os locais de maior perigo como taludes, onde a inspeção é contínua. Talvez a única desvantagem da mineração a céu aberto com relação a iluminação natural seja um certo incomodo visual em minas com minerais de alta refletância (como mármore e giz). Em alguns casos durante certo período do dia trabalhadores utilizam óculos escuros.

Já em subsolo a prioridade maior é a confiabilidade da iluminação e as alternativas em casos de emergência, vindo a seguir então os níveis de iluminamento nos locais de trabalho e trânsito.

Os projetos de iluminação de minas tem inúmeros fatores complicadores mas tem duas vantagens:

- a. a maioria dos trabalhos não é de detalhe e envolve equipamentos e ferramentas de grande porte, não requerendo alto nível de iluminamento;
- b. a maioria dos riscos está associada a movimento de equipamentos, o qual é perceptível mesmo com baixo nível de iluminamento.

Minas a céu aberto apresentam necessidade de iluminação tanto em áreas de extração como nas instalações de infra-estrutura. As áreas de extração podem ser pedreiras, cavas profundas, áreas lavradas em tiras, áreas de dragagem ou de desmonte hidráulico, podendo-se ter grandes extensões ou pequenas áreas numa encosta.

Os equipamentos de mineração podem ter grandes dimensões e caminhões tem limitada visibilidade requerendo junto com as correias transportadoras especial atenção. Caminhões devem ter lâmpadas robustas instaladas em suportes resistentes a impactos e nas áreas externas podem ser colocados potentes holofotes em "shovels" e "draglines". Estes holofotes de alta potência (500 W, 1000 W ou mais) são também utilizados em grandes salões subterrâneos.

Quanto às instalações de apoio a lavra, merecem atenção os pontos de carregamento, as subestações elétricas, as estações de bombeamento, as instalações de tratamento e cominuição, as áreas de estoque, as oficinas de manutenção, as salas de controle, as escadas e rampas, os banheiros, os vestiários e os escritórios.

As áreas de britagem, moagem, peneiramento e separação são em geral poeirentas, barulhentas e com vibrações. A iluminação deve evitar sombras (para diminuir riscos) e ser a prova de pó e umidade (o que facilita a limpeza por jatos de água).

Na iluminação subterrânea as lâmpadas pessoais são consideradas como fonte primária e a iluminação de rede é considerada como fonte secundária. Isto significa que mesmo se tendo uma boa iluminação de rede deve-se ter em subsolo fácil acesso a lanternas pessoais, além da lâmpada portátil de capacete.

Os projetos de iluminação subterrânea devem incluir o fator mobilidade e a taxa de utilização das áreas. A mobilidade engloba tanto a de pessoal como a das frentes de lavra e equipamentos. Quanto a taxa de uso de um local, em geral minas subterrâneas contêm áreas restritas de alta atividade de trabalho e grandes extensões pouco utilizadas.

Em locais de longa permanência de pessoal como oficinas e escritórios, deve-se seguir a prática normal de iluminação. Já em locais de curta permanência o nível geral de iluminamento deve ser baixo para se minimizar os problemas de adaptação visual na chegada; um nível baixo de iluminamento geral significa iluminamento da mesma ordem daquele produzido por lanternas pessoais.

Sempre que possível a rede secundária deve conter fontes difusas de luz para diminuir o ofuscamento, já que muitas vezes devido às dimensões das vias subterrâneas as lâmpadas são colocadas a altura dos olhos. A diminuição da visibilidade por causa de fumaça, poeira e partículas não queimadas de carvão pode ser bastante diminuída com auxílio de uma boa ventilação.

Finalmente em atmosferas explosivas, como aquelas contendo metano e ou pó de carvão, a iluminação deve ser feita com luminárias a prova de explosão.

5.2. RECOMENDAÇÕES GERAIS DE ILUMINAÇÃO

As recomendações relativas às condições de iluminação artificial são em geral especificadas em termos de iluminamento ou luminância. O iluminamento que devem receber as superfícies dos objetos depende da utilização dos mesmos, e observando-se a evolução temporal do número de lux recomendados percebe-se um aumento deste valor. Isto reflete uma maior atenção dada aos problemas de iluminação, o barateamento da energia elétrica e a melhoria tecnológica das lâmpadas disponíveis no mercado.

Entre as tarefas que exigem altíssimos níveis de iluminamento destacamos: partos de mesa e cadeira odontológica (5000 lx), pronto socorro local (10 000 lx), autópsia local (15 000 lx), mesa de operação

(20 000 lx).

Quando se tem iluminação geral mais luz concentrada em pontos convenientes, o nível de iluminação do ambiente não deve ser inferior a 1/10 do valor do campo de trabalho, mesmo que o nível recomendado para o ambiente seja menor.

Em resumo podemos considerar três faixas básicas de iluminamento:

- a. 20 a 200 lux - para locais de pouco uso e com iluminação geral
- b. 200 a 2 000 lux - para iluminação de áreas de trabalho internas, as vezes com luz localizada
- c. 2 000 a 20 000 lux - para tarefas difíceis, com iluminação local adicional

5.3. A NORMA BRASILEIRA NB-57

As recomendações da ABNT para a iluminação de interiores, estão expressas na Norma Brasileira NB-57 adotada em maio de 1991 e com errata em julho de 1991. Na P-NB-57 de 1958 a grandeza considerada era denominada de iluminamento, mas na NB-57 de 1991 a mesma grandeza é denominada de luminância, ambas dadas em lux. Neste texto utilizamos ambas as denominações como sinônimos.

Em ambos os textos, P-NB-57 e NB-57, não se nota nenhuma referência a atividade de mineração em subsolo.

Todas as especificações apresentadas anteriormente estão em função da grandeza iluminamento, mas o que se realmente vê é a luz refletida nos objetos. Os níveis especificados levam em consideração as refletâncias médias encontradas nas diversas atividades, mas as especificações poderiam ser também em termos de níveis de luminância. A tabela 5.1. apresenta alguns valores de iluminamento (iluminância) enquanto que especificações em termos de luminância são importantes no caso de luminárias quando se considera problemas de ofuscamento.

Tabela 5.1. Valores mínimos de iluminamento recomendados pela IES americana.

E (lux)	atividades
10 a 215	pátios de trens
~ 107	britadores, correias transportadoras, ..
~ 538	fornos, oficinas de máquinas, ..
322 a 538	moinhos de rolo, ..
753 a 1 614	escritórios, ..
~ 10 000	inspeção de alta precisão

5.4. A COMISSÃO INTERNACIONAL DE ILUMINAÇÃO - CIE

Durante a Feira Mundial de Paris em 1900, desenvolveu-se o Congresso Internacional da Indústria de Gás no qual se decidiu estabelecer uma associação internacional para realizar estudos fotométricos dos gases combustíveis usados em iluminação. Assim foi criada a Comissão Internacional de Fotometria a qual logo ampliou seus objetivos para incluir também a construção de fontes luminosas elétricas e suas aplicações práticas.

Em agosto de 1913, em sua reunião de Berlim, decidiu-se pela criação da "CIE- Commission Internationale de l'Éclairage / International Commission on Illumination".

Os objetivos iniciais da CIE eram continuar os trabalhos da Comissão de Fotometria e englobar os novos problemas práticos associados a iluminação elétrica. Atualmente os principais objetivos da CIE são:

- a. ser um fórum internacional de debates para todos os assuntos associados a arte e ciência da iluminação;
- b. promover o estudo de temas de iluminação e o intercâmbio de informações entre os diversos países;
- c. preparar e publicar definições e recomendações aprovadas internacionalmente no campo da iluminação.

A atuação da CIE se apoia em Comitês Técnicos (TC) e em Grupos de Estudo (SG), sendo que cada Comitê Técnico é indicado para um país membro. O trabalho de cada TC é revisto anualmente e analisado em detalhe a quatro anos nas Sessões Plenárias da CIE. Atualmente a CIE conta com cerca de 30 TC e um SG, e também 30 países membros, além de 10 indivíduos de outros países que tem a designação de membro associado.

5.5. OS COMITÊS TÉCNICOS PARA ILUMINAÇÃO DE MINAS

Em setembro de 1931, na 8a. Sessão Plenária da CIE ocorrida em Cambridge, o inglês W. Maurice apresentou um trabalho intitulado "A standart of illumination for mines". Após análises e discussões a CIE concluiu que a iluminação mineira tinha características e problemas próprios, e criou o "Comitê de Estudos 29 - Iluminação de Minas".

A iluminação de minas tem características próprias pois quase tudo envolve movimento, o que é muito diferente de um operário em pé ou sentado numa fábrica. Também não se pode considerar como igual à iluminação geral de uma fábrica porque a mobilidade requer luminárias instaladas nas máquinas e nos operários, as quais devem ser duráveis num ambiente agressivo e não devem introduzir novos riscos. O mineiro tem que ver bem para executar sua tarefa e estar em segurança, já que trabalha num ambiente perigoso e visualmente complicado.

O Comitê de Estudos 29 tinha como objetivo inicial "estudar normas e métodos usados na iluminação de minas de carvão, tanto individual como geral". Ele preparou um questionário internacional que foi respondido por oito países e a partir do qual foi possível ampliar seus objetivos, redefinidos na 9a. Plenária de 1935 em Berlim, e que incluíam medidas de iluminamento em minas e o estudo da influência da iluminação e ofuscamento sobre a segurança e a eficiência.

Em 1971 em Barcelona o polonês A. Peretiatkiewicz propôs a criação de um novo grupo de estudos orientado aos problemas da iluminação mineira. Os Comitês nacionais foram consultados e foram favoráveis, principalmente face a intensificação da lavra de carvão devido a crise energética de 1973.

Finalmente em 1975 em Londres, o Comitê Executivo da CIE criou o Comitê Técnico 4.10 - Iluminação de Minas, e para o qual 16 países designaram representantes. Seus primeiros objetivos eram: preparar recomendações internacionais para iluminação em subsolo, avaliar a prática mundial de iluminação mineira e preparar vocabulário e definições pertinentes.

Eram então membros do TC 4.10 os seguintes países: Austrália, Bulgária, Canadá, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Holanda, Hungria, Inglaterra, Itália, Japão, Polônia, República da África do Sul, República Federal da Alemanha, Romênia, Tchecoslováquia, URSS e USA.

O programa de trabalho do TC 4.10 incluía:

- a. analisar e preparar recomendações para minas a céu aberto;
- b. estudar a aplicação de medidas fotométricas em minas;
- c. investigar e opinar sobre lâmpadas pessoais;
- d. investigar os requerimentos para iluminação subterrânea;
- e. padronizar a terminologia.

A execução deste programa está atualmente nas mãos de três Sub- comitês denominados de:

Comitê Técnico TC 5-01 - Iluminação de minas subterrâneas

Coordenador: R. Hemp - RSA

Objetivo: Elaborar proposta definitiva
para níveis de iluminação em
minas subterrâneas.

Comitê Técnico TC 5-02 - Medidas de parâmetros luminosos em minas subterrâneas

Coordenador: B Weis - Alemanha

Objetivo: Elaborar guia para inspeção
e medição da iluminação em
subsolo.

Comitê Técnico TC 5-03 - Iluminação em minas a céu aberto

Coordenador: P.K.Bandyopadhyay- India

Objetivo: Elaboração de manual para
projeto de iluminação em minas a céu aberto.

5.6. RECOMENDAÇÕES DA CIE PARA A ILUMINAÇÃO DE MINAS

Quando os trabalhos dos Comitês Técnicos evoluem a um ponto onde se tem concordância dos países membros é então elaborado um relatório com recomendações. Estes relatórios são distribuídos aos países membros e não tem caráter de obrigatoriedade mas são considerados como referência para que os países membros desenvolvam suas próprias normas. Apesar de não desenvolverem pesquisas independentes os Comitês Técnicos colaboram com várias entidades como a IES, e com universidades e laboratórios de pesquisa do mundo todo.

As recomendações para minas subterrâneas envolvem aspectos de nível de iluminação, uniformidade de distribuição, ofuscamento e campo visual. A seguir são resumidas algumas das principais recomendações já elaboradas.

5.6.1. TIPOS DE ILUMINAÇÃO

Quanto à iluminação nos locais de trabalho e nos locais de permanência temporária são considerados três tipos de sistemas de iluminação:

- a. iluminação geral - relativa à iluminação de todo o realce ou dos locais aonde existam trabalhadores em atividade ou em deslocamento.
- b. iluminação local - aonde não existe iluminação geral ou aonde esta não assegure níveis adequados ao tipo de operação sendo realizada num local específico.
- c. iluminação pessoal portátil deve assegurar condições mínimas de segurança para a movimentação de trabalho e evacuação durante uma situação emergencial.

Quanto a iluminação geral os espaços subterrâneos podem ser subdivididos em 4 grupos:

Grupo 1 - áreas onde a iluminação é obrigatória.

O sistema de iluminação pode ser baseado na rede elétrica da mina ou em máquinas mecanizadas móveis. Este grupo engloba todos os locais onde se tenha trabalho humano contínuo, ou aonde a passagem ou permanência temporária envolvam riscos ou situações críticas. Neste último casos enquadram-se:

- vias de acesso e vias principais de deslocamento (estações de poços, galerias de transporte com deslocamento de pessoal, etc);
- estações de carregamento e galerias com correias transportadoras com deslocamento de pessoal;
- câmaras e salas (oficinas, garagens, estocagem, serviços de manutenção, etc);
- instalações elétricas e mecânicas (subestações, geradores, compressores, refrigeradores, bombas de água, ventiladores, etc);
- realces de produção, faces de extração e de avanço;
- áreas com iluminação de emergência.

Grupo 2 - áreas onde a iluminação geral é aconselhável mas não obrigatória.

Nestes locais a iluminação geral deve ser introduzida a partir da rede elétrica da mina. Neste grupo se enquadram locais com trabalho eventual ou temporário, ou locais pelos quais a passagem não envolva riscos altos. Como exemplos temos:

- faces onde a lavra está paralizada em toda a extensão mas aonde algum equipamento ainda é operado;
- regiões de realces afastadas das frentes;
- galerias com correias transportadoras sem deslocamento de pedestres;
- rampas ou planos inclinados sem acesso ou passagem de pedestres;
- vias secundárias de acesso a equipamentos de pequeno porte;
- portas de ventilação junto a vias de transporte e deslocamento de pessoal;
- vias de deslocamento de pedestres (de interligação ou acesso a equipamentos isolados).

Grupo 3 - áreas onde a iluminação baseada na rede elétrica da mina não se faz necessária.

Incluem-se aqui as áreas de baixo tráfego, poços com deslocamento de pessoal ou áreas onde continuamente haja pessoal mas exista iluminação adequada suprida por faróis e holofotes de máquinas e equipamentos mecanizados (tais como mineradores contínuos).

Grupo 4 - áreas onde um sistema geral de iluminação de rede é desaconselhável.

Neste grupo estão englobadas áreas não apropriadas para passagem ou permanência de pessoal (tal como um túnel não usado para acesso ou transporte), áreas onde o sistema de iluminação possa aumentar os riscos (como estratos profundos com presença de metano), ou ainda em dutos para ventilação e retorno de ar.

5.6.2. PARÂMETROS DE PROJETO

Muitos países utilizam como parâmetro básico o nível de iluminamento devido a facilidade de medição dos lux incidentes por meio de pequenos luxímetros de uso generalizado. O iluminamento causado por uma fonte pode ser obtido a partir das curvas de intensidade luminosa e de isoiluminamento fornecidas pelo fabricante, e a luminância pode ser calculada desde que se conheça a refletância da superfície. Portanto quando se trabalha com especificações em termos de luminância é necessário que se tenha medidas precisas de refletância.

O Comitê Técnico 4.10 da CIE, em sua reunião anual ocorrida na Polônia em 1980, recomendou certos procedimentos para serem utilizados pelos países membros como padrão de referência no esforço individual de cada um na definição de suas próprias normas. As principais recomendações foram:

- a. *é preferível especificar níveis de luminância do que níveis de iluminamento; a luminância fornece uma medida da luz refletida que em última análise é a luz que nos permite ver os objetos. Como a refletância nas minas é em geral muito baixa, valores de iluminamento carecem de maior significado principalmente nas minas de carvão.*
- b. *os níveis mínimos de luminância dependem das tarefas e das condições de trabalho.*

Portanto a CIE recomenda que o parâmetro básico em projetos e especificações para a iluminação de minas seja a luminância no campo visual, o que é mais lógico do ponto de vista do projetista mas implica em um desafio para os fabricantes de instrumentos. Estes deverão produzir instrumentos que meçam a luminância em subsolo e que devem ser portáteis, robustos, práticos e baratos, de modo a se tornarem tão utilizados quanto os atuais luxímetros.

Os valores recomendados pela CIE são os seguintes:

a. valor reduzido - 0,05 nit

Aplicável onde o tráfego é leve e a mecanização é mínima, e a iluminação é desejável por questões de segurança.

b. valor normal - 0,20 nit

Valor obrigatório onde se tem máquinas e equipamentos mecanizados normalmente em operação ou em deslocamento.

c. valor aumentado - 10 nit

Aplicável às câmaras e salões onde se tem pessoal mas não se tem execução de serviço de precisão.

d. valor aumentado - 20 nit

Aplicável aos salões e câmaras onde se tenha trabalhos de precisão.

5.6.3. UNIFORMIDADE

A recomendação da CIE é para que a luminância no campo visual de um mineiro não varie mais do que 5 vezes numa distância de 1 metro, medida ao longo da área observada, desde que a refletância não se altere (devido a tipo e cor da superfície mineral). Em outras áreas a uniformidade da luminância não deve superar a razão de 10:1.

Ou seja:

no primeiro caso - $L(\max)/L(\min) < 5:1$

no segundo caso - $L(\max)/L(\min) < 10:1$

Todavia estes valores são considerados por alguns membros como restritivos demais, que acham suficientes os quocientes de 10:1 e de 50:1 respectivamente.

5.6.4. OFUSCAMENTO E CAMPO VISUAL

A CIE admite como aceitáveis luminâncias de até 3 000 nit no campo visual do mineiro e causadas por iluminação de rede. Nas frentes e faces de extração são admitidas luminárias com luminância superior a 3 000 nit desde que locadas acima da linha de visão. Em aberturas horizontais a altura mínima estabelecida é de 2,5 metros entre o piso e a linha central da fonte luminosa.

5.7. NORMAS ESTRANGEIRAS

A maioria das normas existentes em cada país são relativas a minas subterrâneas de carvão, mas em muitos deles estudos tem sido efetuados para extensão ou adaptação destas para minas metálicas, não metálicas e a céu aberto. As normas para carvão são de modo geral as mais restritivas visto ser esta uma lavra complicada sob os pontos de vista da ergonomia, da higiene e da segurança.

As normas individuais de cada país são razoavelmente específicas quanto a caracterização do que constitui um sistema de iluminação seguro, ou seja quanto a aspectos de queda de potência, choques elétricos, instrumentação de segurança intrínseca em atmosferas explosivas (gases ou poeira), etc. Todavia quanto à níveis de iluminação nos diversos locais de uma mina há uma grande variedade de procedimentos entre os países. Esta ampla variedade envolve tanto aspectos técnicos (quais os parâmetros são tomados como referência) como aspectos legais (normas obrigatórias, padrões sugeridos ou mesmo ausência de referência específica).

Em função destes aspectos os países podem ser subdivididos em 4 grupos:

Grupo 1 - países que não especificam nem valores mínimos nem valores recomendados (específicos para a mineração), indicando que quando necessária a iluminação deve ser suficiente e adequada.
Exemplo: Austrália, Canadá.

Grupo 2 - países que não especificam valores mínimos, mas que sugerem valores para servirem de referência a indústria mineira e aos projetistas.
Exemplo: Reino Unido

Grupo 3 - países que especificam valores mínimos de iluminamento em função do local na mina, bem como metodologias de medida e técnicas de monitoramento e fiscalização.
Exemplo: Bélgica, Hungria, Polônia, Alemanha, Tchecoslováquia.

Grupo 4 - países que especificam valores mínimos de luminância em função do local na mina, e que portanto seguem as recomendações da CIE pelo menos quanto ao parâmetro básico de referência. Além disso apresentam rígidos procedimentos quanto a monitoramento e fiscalização.
Exemplo: USA.

Para os países dos grupos 3 e 4 as especificações são parte integrante da legislação mineira ("Mining Act") e portanto o seu não cumprimento pode gerar multas e interdição de áreas ou da própria mina.

6. CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO EM MINAS BRASILEIRAS

6.1. SELEÇÃO DAS MINAS ANALISADAS

O objetivo básico desta pesquisa foi a análise da situação de várias minas subterrâneas brasileiras quanto ao fator iluminação. Nesta análise procurou-se observar aspectos relativos aos níveis de iluminação em variados locais em subsolo, o estado de conservação dos sistemas de rede e de iluminação individual, os tipos de lâmpadas e luminárias utilizadas, as características de refletância dos minerais de minério e de estéril nas superfícies internas das minas, e custos envolvidos na instalação e manutenção.

A escolha das minas a serem visitadas considerou as distintas características existentes em lavra subterrânea, procurando-se uma representação adequada das diversas situações extremas encontradas no Brasil. Deste modo as minas foram selecionadas com base em características bem diversas quanto ao tipo de minério, à forma de acesso ao corpo mineralizado, ao método de lavra, ao tipo de transporte e remoção do subsolo, ao grau de mecanização das operações, a profundidade dos realces, ao tamanho do empreendimento, às condições de segurança, conforto termo- corporal e ergonomia.

Deste modo as minas incluídas explicitamente nesta pesquisa foram as seguintes:

1. mina de sal de Taquari-Vassouras, em Sergipe;
2. mina de calcário do Baltar, em São Paulo;
3. mina de chumbo e zinco de Morro Agudo, em Minas Gerais;
4. minas de carvão do Leão I e do Leão II, no Rio Grande do Sul;
5. minas de cobre do Camaquã (São Luiz e Uruguai), no Rio Grande do Sul;
6. minas de fluorita Santa Catarina e Poço São Pedro, em Santa Catarina;
7. minas de carvão Esperança, São Geraldo e CBCA, em Santa Catarina;
8. mina Morro do Ouro da RPM, em Minas Gerais (a única a céu aberto).

Portanto foram incluídas nesta pesquisa 13 minas envolvendo 5 estados brasileiros e 7 tipos de minérios. O levantamento de dados de campo foi efetuado num período de cerca de 2 anos, com a primeira visita ocorrendo em dezembro de 1989 na mina de Taquari-Vassouras, e a última efetuada na mina CBCA em dezembro de 1991. No trabalho completo que originou uma tese de doutoramento a nomenclatura derivada da numeração dos anexos foi a seguinte:

- mina de Taquari-Vassouras - Anexo D;
- mina do Baltar - Anexo E; mina de Morro Agudo - Anexo F;
- mina do Leão I - Anexo G;
- mina do Leão II - Anexo H;

minas do Camaquã (São Luiz e Uruguai) - Anexo I;
mina Santa Catarina - Anexo J;
mina Poço São Pedro - Anexo K;
mina Esperança - Anexo L;
mina São Geraldo - Anexo M;
mina CBCA - Anexo N;
mina Morro do Ouro - Anexo O.

6.2. DIFICULDADES DE MEDIÇÃO

As medições em instalações de superfície foram sempre mais fáceis e tranquilas que as em subsolo. Na maioria das vezes em subsolo se utilizava um veículo de transporte como um jipe ou caminhão sendo necessário parar o veículo quando se efetuava as medidas. O tempo de medição não podia ser longo devido a passagem de outros veículos e a continuidade da produção e muitas vezes as medidas foram efetuadas em cima do próprio veículo. Quando o deslocamento era feito a pé então podia-se efetuar medições mais precisas e em locais escolhidos tais como cruzamentos, pontos de transferência de correias, portas de ventilação e alimentadores.

Em superfície se utilizou o luxímetro Hagner importado e em subsolo se empregou o luxímetro ICEL nacional. Medições comparativas indicaram que o luxímetro ICEL fornecia leituras entre 5 e 10% menores que as correspondentes do Hagner. Esta variação não prejudica a análise das medidas em subsolo porque na iluminação de minas as margens de segurança e de imprecisão são sempre muito maiores que 10%.

O termo mina engloba genericamente tanto a mina propriamente dita (a escavação) como a usina e as instalações de superfície. Portanto um adequado gerenciamento das condições ambientais de uma mina deve considerar de maneira global o parâmetro iluminação, ou seja, num projeto de iluminação de mina devem ser considerados todos os tipos de instalação de superfície e de subsolo.

No âmbito desta pesquisa nos concentramos preferencialmente em locais dentro ou junto à escavação, não tendo-se efetuado medições dentro de usinas de tratamento de minérios (silos, salas de flotação, setores de cominuição e separação, etc). As exceções ocorreram quando por exemplo se tinha britagem primária em subsolo como na mina do Baltar.

Uma outra dificuldade encontrada estava associada às próprias medições e à obtenção de informações correlatas. O tema iluminação faz parte da engenharia ambiental e está associada a higiene e segurança ocupacional, tendo existido uma latente cautela com os objetivos de nosso trabalho de campo. Havia a preocupação que utilizássemos nossa inspeção técnica com finalidades que posteriormente denegrissem a imagem das empresas. Neste contexto agradecemos a todas as empresas que acreditaram nos propósitos desta pesquisa e esperamos que os resultados dela oriundos lhes possam ser úteis.

6.3. RESULTADOS OBTIDOS COM AS PESQUISAS DE CAMPO

6.3.1. NÍVEL DE CONHECIMENTO DO TEMA

Durante nossas visitas técnicas tivemos contato com engenheiros de minas, engenheiros civis, engenheiros mecânicos, engenheiros elétricos, geólogos e técnicos de mineração. Em nenhuma situação encontramos alguém especializado em iluminação de mina e não conseguimos acesso a nenhuma informação de antigo projeto de iluminação da mina. Num único caso (numa conversa informal) houve referência a um projeto original desenvolvido por projetista estrangeiro, e que após a partida dos técnicos a empresa retirou metade das lâmpadas porque achou que as havia em excesso.

Não havendo projeto específico era de se esperar que as atividades associadas como manutenção e análise de custos também fossem mínimas. Apenas uma empresa nos forneceu gentilmente uma estimativa de custos com o item iluminação, estimativa esta efetuada na própria mina e baseada num consumo de energia. O valor obtido portanto não incluía compra de lâmpadas e luminárias, tempo de sua substituição e mão de obra, limpeza e inspeção dos sistemas, mudança de rede e locais de instalação, etc. O valor estimado foi de 0,02% do custo mensal de lavra, indicando que a "importância" do tema iluminação parece estar associada a sua pequena influência nos custos totais.

Das visitas técnicas pode-se constatar não existir nenhum programa preventivo de manutenção e limpeza específico para iluminação em subsolo, nem a noção formal dos benefícios que estes poderiam proporcionar.

6.3.2. VALORES MEDIDOS

Os resultados das medições são sumarizados utilizando-se os quatro grandes grupos de locais considerados pela CIE, ou seja:

Grupo 1 - áreas onde a iluminação é obrigatória, ou seja locais onde se tenha trabalho humano contínuo, ou aonde a passagem ou permanência temporária envolvam riscos ou situações críticas tais como:

- vias de acesso e vias principais de deslocamento (estações de poços, galerias de transporte com deslocamento de pessoal, etc);
- estações de carregamento e galerias com correias transportadoras com deslocamento de pessoal;
- câmaras e salas (oficinas, garagens, estocagem, serviços de manutenção, etc);
- instalações elétricas e mecânicas (subestações, geradores, compressores, refrigeradores, bombas de água, ventiladores, etc);
- realces de produção, faces de extração e de avanço;
- áreas com iluminação de emergência.

Grupo 2 - áreas onde a iluminação geral é aconselhável mas não obrigatória, ou seja locais com trabalho eventual ou temporário, ou locais pelos quais a passagem não envolva riscos altos

- faces onde a lavra está paralizada em toda a extensão mas aonde algum equipamento ainda é operado;
- regiões de realces afastadas das frentes;
- galerias com correias transportadoras sem deslocamento de pedestres;
- rampas ou planos inclinados sem acesso ou passagem de pedestres;
- vias secundárias de acesso a equipamentos de pequeno porte;
- portas de ventilação junto a vias de transporte e deslocamento de pessoal;
- vias de deslocamento de pedestres (de interligação ou acesso a equipamentos isolados).

Grupo 3 - áreas onde a iluminação de rede elétrica da mina não se faz necessária, tais como as áreas de baixo tráfego, poços com deslocamento de pessoal ou áreas onde continuamente haja pessoal mas exista iluminação adequada suprida por faróis e holofotes de máquinas e equipamentos mecanizados (tais como mineradores contínuos).

Grupo 4 - áreas onde um sistema geral de iluminação de rede é desaconselhável. Neste grupo estão englobadas áreas não apropriadas para passagem ou permanência de pessoal (tal como um túnel não usado para acesso ou transporte), áreas onde o sistema de iluminação possa aumentar os riscos (como estratos profundos com presença de metano), ou ainda em dutos para ventilação e retorno de ar.

Além destes grupos consideramos um quinto grupo contendo locais e instalações em superfície, tais como escritórios, laboratórios, oficinas, etc. A tabela 6.1. sumariza as medições efetuadas.

A tabela 6.2. apresenta os valores de refletância medidos para as diversas superfícies das minas visitadas.

6.4. ANÁLISE DOS VALORES MEDIDOS

Os valores medidos são um reflexo natural da inexistência de projeto específico de iluminação e de programas de manutenção preventiva. Numa mesma mina se encontra regiões adequadamente iluminadas e regiões sem qualquer iluminação, sendo a disparidade entre minas ainda maior. Exemplos típicos são as vias de acesso e as galerias principais de transporte onde o espaçamento das lâmpadas não é um valor racionalmente determinado mas deriva do julgamento subjetivo de quem fez a instalação. Este espaçamento poderia ser facilmente estimado usando-se a metodologia ponto a ponto, utilizando-se as características geométricas da via e os valores de refletância das paredes. Os níveis de iluminamento adotados no projeto deveriam ser aqueles recomendados pela CIE.

A variação do iluminamento com a distância também não satisfaz via de regra ao quociente máximo de 10:1 sugerido pela CIE.

A refletância apresenta valores variando desde alguns por cento (carvão e sulfetos) até dezenas de por cento (silvinita, paredes caiadas). A caiada de uma superfície de mina subterrânea via de regra eleva a refletância acima de 30% e é um efetivo modo de se melhorar as condições de iluminação em subsolo. Todavia não é um processo sistematicamente utilizado apesar de ser facilmente executável. Além disso as paredes caiadas não apresentavam limpeza sistemática.

TABELA 6.1. Alguns valores de iluminamento (iluminância) para as diversas minas pesquisadas (dados completos constam da referência 32). A denominação das minas corresponde aos anexos em que elas são descritas [32]. O traço (-) indica não existência de iluminação enquanto que NM indica medição não efetuada (inexistência de local ou não se esteve no local), e I indica existência de iluminação inadequada (sem ter-se podido medir o nível exato de iluminação). A unidade é o lux, os valores máximos e mínimos se referem a toda a mina, e um único valor reflete o fato de se ter apenas uma medida (devido às condições encontradas).

GRUPO 1 - OBRIGATÓRIA										
locais de medição: vias principais de acesso como poços, rampas, estações, etc										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
-	1	0	15	NM	-	20	11	0	1	1
	15	67	110			80	78	80	45	20

GRUPO 1 - OBRIGATÓRIA										
locais de medição: galerias principais de transporte com deslocamento de pessoal (tais como correias e caminhões, etc)										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
-	0	-	0	NM	29	38	8	0	NM	0
	22		10		64	190	66	65		20

GRUPO 1 - OBRIGATÓRIA										
locais de medição: oficinas, garagens, salas de manutenção, etc										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
48	17	NM	150	NM	24	45	NM	112	NM	20
143	72		260		192	115				80

GRUPO 1 - OBRIGATÓRIA										
locais de medição: refeitórios em subsolo ou locais para descanso e lanche										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
NM	134	NM	NM	NM	60	NM	30	1	35	NM
	155				184		110		70	

GRUPO 1 - OBRIGATÓRIA										
locais de medição: câmaras de britagem, etc										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
NM	30	NM	NM	NM	21	NM	NM	NM	NM	NM
	31									

GRUPO 1 - OBRIGATÓRIA										
locais de medição: pontos de carga e transferência de correias										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	15	30	28
								40	40	60

GRUPO 1 - OBRIGATÓRIA										
locais de medição: subestações (geradores, compressores, bombas, ventiladores, etc)										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
-	18	0	8	NM	NM	NM	57	NM	NM	NM
	63	95	10				115			

GRUPO 1 - OBRIGATÓRIA										
locais de medição: realces e faces de extração										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
-	-	-	NM	NM	NM	2	5	-	NM	NM
						34	28			

GRUPO 1 - OBRIGATÓRIA										
locais de medição: salas de comando (guinchos, ventilação, britagem, etc)										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
178	215	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM
271										

GRUPO 2 - ACONSELHÁVEL										
locais de medição: galerias com correias mas sem passagem de pedestres										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
48	17	NM	150	NM	24	45	NM	112	NM	20
143	72		260		192	115				80

GRUPO 2 - ACONSELHÁVEL										
locais de medição:										
minas pesquisadas										
D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
-	2	NM	NM	NM	-	NM	NM	-	NM	NM
16										

6.5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa foi a primeira iniciada pelo LACASEMIN - Laboratório de Controle Ambiental, Higiene e Segurança na Mineração do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP. Ela teve entre outras finalidades a de iniciar um intercâmbio técnico entre o LACASEMIN e empresas de mineração, a partir do qual outras pesquisas e trocas de informações se efetivaram. Por exemplo o oferecimento de cursos de especialização "in loco" para empresas (tais como para as minas RPM e Ipueira III, e a CETESB), além de apoio e consultoria nas áreas de poeiras fugitivas, vibrações e sobrepressão atmosférica devido a detonações por explosivos (em cavas a céu aberto, minas subterrâneas, pedreiras, túneis ferroviários, barragens e implosões de edifícios), ventilação geral diluidora (envolvendo aspectos de gases, aerodispersóides e conforto termo- corporal).

Dos levantamentos efetuados pode-se constatar que:

1. a iluminação de minas e suas relações com saúde ocupacional, com produtividade e com segurança no trabalho são temas pouco conhecidos e considerados não prioritários na mineração.
2. as condições de iluminação em minas subterrâneas brasileiras não são satisfatórias no que tange a níveis recomendados, a tipos de lâmpada e luminária, a qualidade de instalação e estado de conservação. Não encontramos informações de nenhum projeto específico nem programas de manutenção preventiva em execução.
3. em alguns locais de algumas minas a iluminação era adequada e algumas equipes de segurança tinham luxímetros. Isto indica que apesar da iluminação não ser a mais apropriada existia uma aceitação da importância do tema.
4. em todas as minas visitadas houve interesse no recebimento de mais informações sobre o assunto e sobre os resultados da pesquisa.

Uma continuação lógica desta pesquisa deveria envolver ações que revertissem o quadro acima, ou que pelo menos auxiliassem esta reversão. Dentre as múltiplas ações destacamos as seguintes dentre as quais algumas já estão sendo desenvolvidas:

- a. elaboração de um manual prático;
- b. elaboração de um livro texto;
- c. preparação de questionário específico sobre iluminação;

- d. oferecimento de curso de extensão universitária;
- e. inclusão de iluminação em galeria didática;
- f. curso de pós-graduação;
- g. delineamento de experimentos sobre iluminação em minas;
- h. participação em comissões internacionais.

TABELA 6.2. Valores de refletância, expressos em porcentagem.

tipo de superfície	refletância
mina D	
halita branca	21,4 a 25,0
halita escura	7,1
silvinita branca	26,7 a 30,0
silvinita vermelha	11,5
mina E	
estéril (dolomito)	11,0 a 12,5
concreto projetado limpo	20,0 a 27,2
concreto projetado sujo	15,4 a 20,0
mina F	
minério sulfetado de Pb e Zn	1,8 a 4,0
mina G	
paredes de carvão	0 < a < 10
mina I	
parede: estéril, caiada, limpa	35,4 a 43,1
parede: estéril, caiada, meio suja	33,3 a 36,5
parede: estéril, caiada, suja	25,7 a 30,4
parede: madeira, caiada, limpa	45,7 a 58,1
parede: estéril (câmara de britagem)	0 a < 15,4
mina J	
parede: quartzo-monzonito, caiada	36,0 a 41,7
parede: granito encaixante, não caiado	14,4 a 18,5
mina K	
parede: estéril, caiada	29,5 a 35,7
parede: estéril, não caiada	11,1 a 17,6
mina M	
paredes: carvão	4,0 a 4,4
mina N	
parede: carvão	2,9 a 6,4
parede: carvão, caiada, suja	5,9 a 12,5

A. MANUAL PRÁTICO

Na elaboração de um manual prático voltado aos técnicos de campo dever-se-á incluir uma introdução às relações entre iluminação, segurança e produtividade, um resumo conceitual das principais grandezas e unidades, e linhas gerais de projeto e manutenção. O manual deverá ser acessível não só a engenheiros mas também a geólogos e técnicos de nível médio. Deverá enfatizar que os custos de uma boa iluminação são baixos (<1%) ao passo que os custos de uma iluminação inadequada são altos (pois afeta a moral, a produtividade, a quantidade e a severidade dos acidentes).

B. LIVRO TEXTO

Desde seu início a tese de doutoramento foi escrita tendo-se como objetivo sua transformação posterior em livro texto para engenheiros de minas. Vários capítulos apresentam conceitos e definições fundamentais e uma ampla gama de tópicos são apresentados mesmo que superficialmente.

A principal mudança estrutural necessária para se obter um formato de livro texto é a inclusão de exemplos, questões e problemas propostos. Este material foi preparado concomitantemente com esta pesquisa, tendo sido utilizado em aulas de graduação nas disciplinas PMI-597 Engenharia Ambiental em Minas e PMI-537 Ventilação, Higiene e Segurança na Mineração. Com a utilização de um bom processador de textos como o Word para Windows 3.1. esta transformação poderá ser executada sem grandes dificuldades.

A idéia de se preparar este livro teve origem nos seguintes fatos:

- a. inexistência de livro texto em português;
- b a premissa de Trotter de que é melhor um engenheiro de minas se envolver com a iluminação da mina do que um especialista em iluminação se especializar em mineração.

C. PREPARAÇÃO DE QUESTIONÁRIO ESPECÍFICO

Do princípio da elaboração deste pesquisa até as últimas visitas de campo muito foi aprendido com relação ao que observar dentro da mina, ao que perguntar e como perguntar. As futuras visitas técnicas deverão ser precedidas do envio de um formulário geral de modo que se possa padronizar informações e mais facilmente atualizar os dados a cada 3 ou 5 anos. Neste intervalo de tempo a geometria das minas subterrâneas pode ter sido bastante alterada, tendo sido também alterada as características do sistema de iluminação. Este questionário deverá ser distribuído a todas as minas subterrâneas que tenham ou não sido visitadas.

Para as minas que desejarem se envolver em futuras pesquisas as visitas técnicas deverão ter seu tempo estendido para cerca de uma semana, de modo que se possa fazer um levantamento de detalhe específico para cada mina. Este levantamento pormenorizado deverá ser orientado por um formulário específico para cada mina, o qual levará em consideração o tipo de minério, o método de lavra e outras peculiaridades da mina.

Os levantamentos de detalhe deverão utilizar uma planta da mina, de modo que se possa indicar os locais de acordo com as classes propostas pela CIE. Um código de cores baseado na ideia usada pelo USBM para seu luxímetro "go/no go" apresentaria em verde os valores em acordo com a norma e em vermelho os valores inferiores ao recomendado.

Para cada local se deverá obter dados relativos a tipo de fonte e luminária, voltagem e potência, bem como das condições de limpeza e conservação da lâmpada, da luminária e dos suportes. Outras informações se referirão à porcentagem dos bulbos inoperantes, do piscamento e do consumo de lâmpadas.

Outros dados interessantes para futuras pesquisas seriam relativos ao número de mineiros daltônicos e dos códigos de cores e sinalização em vigor em cada mina específica. Um formulário para pesquisas de campo é apresentado pela MAPAO.

D. CURSO DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA

Um curso de extensão universitária foi oferecido a diversas empresas e é hoje parte integrante do conjunto de cursos oferecidos pelo LACASEMIN e que são:

- a. Controle ambiental em minas a céu aberto: material particulado e vibrações.
- b. Ventilação de minas.
- c. Instrumentação em minas subterrâneas.
- d. Engenharia ambiental na mineração: gases, poeiras e conforto termo-corporal.
- e. Iluminação de minas.

E. GALERIA DIDÁTICA

Em espaço anexo ao LACASEMIN se construirá uma galeria artificial totalmente instrumentada, com sistemas de ventilação, sistemas de suporte estrutural, medidores de gases, etc. Pretende-se instalar um sistema de iluminação com diversos tipos de lâmpadas e luminárias, bem como painéis explicativos do funcionamento básico de cada uma, características, vantagens e desvantagens.

Esta galeria servirá a alunos de graduação, pós-graduação, de extensão e técnicos da área de mineração, que poderão ter um contato inicial com os fundamentos da iluminação em subsolo. Uma porção da galeria terá inclusive sua superfície interna pintada de branco, numa imitação da caiação de minas escuras.

F. CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO

Após a conclusão desta pesquisa pretende-se oferecer um curso de iluminação de minas subterrâneas a nível de pós-graduação no Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP. Este curso poderá fazer parte do conjunto de cursos oferecidos na pós-graduação "inloco" que já está implantada pelo Departamento.

G. DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS

Após a preparação do manual prático e do livro texto será elaborado um projeto de pesquisa envolvendo

a execução de testes nas minas, principalmente nas frentes e realces. Esta nova pesquisa deverá ser financiada por órgãos competentes e visará essencialmente a comparação de realces com e sem iluminação de rede nos aspectos de produtividade, acidentes e ambiente de trabalho.

H. PARTICIPAÇÃO EM COMISSÕES

Durante a execução desta pesquisa foram efetuados contatos com diversos especialistas estrangeiros, principalmente no que concerne a normas. Através de um destes contatos fomos convidados pelo Dr. R. Hemp a participar de um dos Comitês Técnicos da CIE, do qual ele é o presidente. Após a conclusão desta pesquisa deveremos formalizar nossa inclusão neste Comitê.

A efetivação de uma ou mais destas ações anteriormente descritas deverá auxiliar na melhoria das condições de iluminação em minas brasileiras, dando continuidade prática a esta pesquisa, e permitindo um maior intercâmbio técnico entre a Universidade e as empresas mineradoras na área da engenharia ambiental.

7. BIBLIOGRAFIA

1. BURROWS, J., ed. Environmental engineering in South African Mines. Capetown, Mine Ventilation Society of South Africa, 1988.
2. MINE VENTILATION SOCIETY OF SOUTH AFRICA. Les Roux's notes on mine environmental control. 4a. ed. Capetown, 1990.
3. VUTUKURI, V.S.; LAMA, R.D. Environmental engineering in mines. Cambridge, University Press, 1986.
4. TROTTER, D.A. The lighting of underground mines. Montreal, McGill Univ., 1982. (Séries on Mining Engineering, 2)
5. USA. Department of Interior. National Mine Health and Safety Academy. Mine illumination. s.l., 1976. (Workbook, 8)
6. LEWIS, W.H., comp. Underground coal mine lighting handbook: part 1 and 2. Washington, U.S. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1975. 2v. (U.S. Bureau of Mines. Information Circular, 9073/9074)
7. TROTTER, D.A. A report on lighting in Ontario underground mines. Ontario, Mines Accident Prevention Association Ontario, 1985.
8. ROBERTS, A. Underground lighting in mines, shafts and tunnels. London, The Technical Press, s.d.
9. MELNIKOV, N.; CHESNOKOV, M. Safety in open cast mining. Moscou, MIR, 1969.
10. VIDAL, V. Exploitation de mines. Paris, DUNOD, 1962. v.2.
11. JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. Mining Labor Accident Society. Mine safety textbook for mine safety engineer. s.l., 1983.
12. CHURCH, H.K. Excavation handbook. New York, McGraw-Hill, 1981. Cap. 16, p.16/18-16/29: Allied operations, machinery and components, and facilities.
13. BOKY, B. Exploitation des mines. Moscou, MIR, 1968
14. BIENIAWSKI, Z.T. Rock mechanics design in mining and tunneling. Boston, A.A. Balkema, 1984.
15. CROOKS, W.H.; PEAY, J.M. Developing luminance requirements for underground metal and nonmetal mines. In: BUREAU OF MINES TECHNOLOGY TRANSFER SEMINARS, Pittsburgh, St. Louis, Denver, 1981. Ergonomics - human factors in mining: proceedings. Washington, US. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1981. p. 41-55. (US. Bureau of Mines. Information Circular, 8866)
16. BIRD Jr, P.B. Mine safety and loss control: a management guide. Georgia, Institute Press, 1980.

17. SCHAFFER, L.; PEAY, J.M. A model of health and safety programs for mines. In: BUREAU OF MINES TECHNOLOGY TRANSFER SEMINARS, Pittsburgh, St. Louis, Denver, 1981. Ergonomics-humanfactors in mining: proceedings. Washington, US. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1981. p. 138- 46. (U.S.Bureau of Mines. Information Circular, 8866)
18. BRASIL. Ministério do Trabalho. Curso de supervisores de segurança do trabalho. 8. ed. São Paulo, Fundacentro, 1985.
19. FERENCÉ Jr, M.; LEMON, H. B.; STEPHENSON, R. J. Curso de física: ondas (som e luz). Trad. J. Goldenberg. São Paulo, Edgard Blucher, 1970.
20. SEARS, E. W.; ZEMANSKY, M.V. Física. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1962. v. 2,3.
21. NAKANO, R. Iluminação externa visando a conservação de energia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTALAÇÕES PREDIAIS, 2. São Paulo, 1986. Instalações prediais: anais. São Paulo, Departamento de Engenharia Civil da EPUSP, 1986, p. 147-64.
22. SENGUPTA, M. Mine environmental engineering. Boca Raton, CRC Press, 1990. v. 1.
23. GRIEVE, P.W. Measuring light. Glostrup, Bruel & Kjaer, 1988.
24. AGRICOLA, G. De Re Metallica. New York, Dover Publications Inc., 1950
25. WALD, G. Eye and camera. In: PERCEPTION: mechanisms and models. Readings from Scientific American. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. Cap.10, pag. 94-103
26. WEIS, B. Aus der Arbeit der CIE: Division 5 "Aus der Beleuchtung andere Lichtanwendungen". LICHT, n. 3/4, p. 326-8, 1989.
27. HEMP, R. Illumination in South African gold mines. In: INTERNATIONAL MINE LIGHTING CONFERENCE, 2., Beckley, 1981. Mine illumination: proceedings. Washington, US. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1981. p. 154-71. (US. Bureau of Mines. Information Circular, 8886)
28. CHAMBER OF MINES OF SOUTH AFRICA. Mine Safety Division. Mine safety management system. Johannesburg, 1990. 1 v. (várias paginações)
29. WEIS, B. Illumination of mines. s.n.t. p. D501/1-D501/3. /Separata de COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE SESSION, 20., 1983/
30. COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. Technical activities and publications. Viena, CIE, 1989.
31. TROTTER, D.A. Reflectance measurements in mining. In: INTERNATIONAL MINE LIGHTING CONFERENCE, 2., Beckley, 1981. Mine illumination: proceedings. Washington, US. Department of the Interior, Bureau of Mines, 1981. p. 154-71. (US. Bureau of Mines. Information Circular, 8886)
32. ESTON, S.M. A iluminação de minas subterrâneas: uma análise da situação brasileira. Tese de doutoramento, Escola Politécnica da USP, 1992.

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Serrana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/005 - Ajuste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/007 - Contribuição ao Dimensionamento de Pilares em Minas Subterrâneas de Manganês - LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/008 - Exploração Mineral: Conceitos e Papel do Estado - LUIZ AUGUSTO MILANI MARTINS, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/009 - Otimização do Projeto de Pátios de Homogeneização através do Método da Simulação Condicional - FLAVIO MOREIRA FERREIRA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/010 - Considerações Gerais sobre Desmonte de Rocha: Análise de Custo - Índice de Produtividade e Otimização da Malha de Perfuração - MARCO ANTONIO REZENDE SILVA, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/011 - Aglomeração de Rejeitos de Fabricação de Brita para sua Reciclagem - ARTHUR PINTO CHAVES, BRADDLEY PAUL
- BT/PMI/012 - Método de Dimensionamento de Peneiras para a Classificação Granulométrica de Rochas ou Minérios - FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/013 - Processo de Beneficiamento para Obtenção de uma Carga Mineral Nobre a partir do Fosfogesso - WALTER VALERY JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/014 - Estudo da Carboxi-Metil-Celulose como Aglomerante para Pelotização - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/015 - A Influência do Amido de Milho na Eficiência de Separação Apatita/Minerais de Ganga Via Processo Serrana - LAURINDO DE SALLES LEAL FILHO, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/016 - Beneficiamento de Criolita Natural - Estado da Arte - HENRIQUE KAHN, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/017 - Estudo da Variação do Índice Energético Específico - W_i , segundo a Granulometria do Ensaio, Obtida através de um Moinho de Bolas Padrão, em Circuito Fechado - MARIO SHIRO YAMAMOTO, FERNANDO AMOS SIRIANI
- BT/PMI/018 - Fluorita - FERNANDO FUJIMURA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/019 - O Aproveitamento de Recursos Minerais: Uma Proposta de Abordagem a Nível Nacional - CELSO PINTO FERRAZ, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/020 - Comparação de duas Metodologias - A de Bieniawski e a de Panek, para Dimensionamento de Tirantes em Galerias Subterrâneas de Seção Retangular em Camadas Estratificadas - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, LINEU AZUAGA AYRES DA SILVA
- BT/PMI/021 - Caracterização de Maços Rochosos através de Envolvimentos de Resistência por Tratamento Estatístico utilizando Dados de Laboratório do IPT Simulando Condições Geotécnicas do Maço - NESTOR KENJI YOSHIKAWA, WILDOR THEODORO HENNIES
- BT/PMI/022 - Avaliação de Impactos Ambientais na Mineração de Combustíveis Fósseis Sólidos - GILDA CARNEIRO FERREIRA, ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/023 - O Lado Nocivo do Elemento Quartzo no Desgaste Abrasivo de Mandíbula de Britadores - FERNANDO FUJIMURA

BT/PMI/024 - Conceitos Básicos de Iluminação de Minas Subterrâneas - SÉRGIO MEDICI DE ESTON, WILDOR THEODORO
HENNIES