

**A Relevância da Calorimetria  
Indireta no Doente Crítico Adulto**  
*The Relevance of Indirect Calorimetry  
in Adult Critically Ill Patients*

Ana Francisca Sacchetti Vieira

**ORIENTADO POR:** Dra. Marília Ferreira

**COORIENTADO POR:** Prof. Doutor Nuno Pedro Garcia Fernandes Bento Borges

REVISÃO TEMÁTICA

I.º CICLO EM CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO | UNIDADE CURRICULAR ESTÁGIO

FACULDADE DE CIÊNCIAS DA NUTRIÇÃO E ALIMENTAÇÃO DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**TC**

PORTO, 2024





## Resumo

O gasto energético de repouso (GER) do doente crítico (DC) é influenciado por vários fatores, incluindo a fase da doença em que se encontra, sendo extremamente variável no mesmo doente e entre doentes.

A presente revisão temática pretende averiguar a superioridade da Calorimetria Indireta (CI), em relação a outros métodos, para avaliar o GER e estimar as necessidades energéticas do DC adulto, bem como explorar outras potencialidades da CI. A CI mede o consumo de oxigénio e a produção de dióxido de carbono para calcular o GER, sendo considerada o *gold standard* por diversas sociedades internacionais. Apesar das suas vantagens, o uso da CI é limitado por fatores como o tempo de calibração, necessidade de desinfeção e custos elevados. Alternativas como Equações Preditivas, Método VCO<sub>2</sub> derivado do ventilador e Método de *Fick*, mostram baixa precisão e variabilidade significativa. O novo calorímetro *Q-NRG*® tem superado algumas limitações, oferecendo maior precisão, portabilidade e menor tempo de medição. Além de determinar o GER, a CI pode monitorizar a evolução do estado metabólico do DC e ajustar a terapêutica nutricional de forma individualizada. Evidências sugerem que a CI, quando realizada diariamente, pode ser útil no prognóstico de DCs com sépsis. Recomenda-se a implementação progressiva de uma nutrição isocalórica após os primeiros dias de internamento, com ajustes baseados nas medições de CI. No entanto, são necessários mais estudos para avaliar plenamente o impacto clínico da CI na mortalidade e recuperação dos DCs.

**Palavras-Chave:** Calorimetria Indireta; Gasto Energético de Repouso; Doente Crítico; Necessidades Energéticas; Impacto Clínico.

**Abstract**

The resting energy expenditure (REE) of critically ill patients is influenced by numerous factors, including the stage of the disease, and is extremely variable within the same patient and between patients. This thematic review aims to investigate the superiority of Indirect Calorimetry (IC) over other methods for assessing the REE of adult critically ill patients and to explore other potential applications of IC. IC measures oxygen consumption and carbon dioxide production to calculate REE and is considered the gold standard by various international societies. Despite its advantages, the use of IC is limited by factors such as calibration time, the need for disinfection, and high costs. Alternatives like Predictive Equations,  $VCO_2$  derived from the ventilator, and Fick Method show low precision and significant variability. The new Q-NRG® calorimeter has overcome some limitations, offering greater precision, portability, and shorter measurement time. Besides determining REE, IC can monitor the evolution of the critically ill patient's metabolic state and adjust nutritional therapy individually. Evidence suggests that IC, when performed daily, can be useful in the prognosis of critically ill patients with sepsis. A progressive implementation of isocaloric nutrition is recommended after the first days of hospitalization, with adjustments based on IC measurements. However, more studies are needed to fully assess the clinical impact of IC on the mortality and recovery of critically ill patients.

**Keywords:** Indirect Calorimetry; Resting Energy Expenditure; Critically ill patient; Energy Requirements; Clinical Impact.

**Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos**

ASPEN: *American Society for Parenteral and Enteral Nutrition*

ATP: Trifosfato de Adenosina

CI: Calorimetria Indireta

CO<sub>2</sub>: Dióxido de Carbono

DC: Doente Crítico

ESPEN: *European Society for Clinical Nutrition and Metabolism*

FiO<sub>2</sub>: Fração Inspirada de Oxigénio

GER: Gasto Energético de Repouso

Hb: Hemoglobina

ICALIC: *International Multicentric Study Group for Indirect Calorimetry*

IMC: Índice de Massa Corporal

MeSH: *Medical Subject Headings*

N<sub>2</sub>: Nitrogénio

O<sub>2</sub>: Oxigénio

PC: Peso Corporal

QA: Quociente Alimentar

QR: Quociente Respiratório

SaO<sub>2</sub>: Saturação de Oxigénio Arterial

SOFA: *Sequential Organ Failure Assessment*

SvO<sub>2</sub>: Saturação de Oxigénio Venoso

UCI: Unidade de Cuidados Intensivos

VCO<sub>2</sub>: Volume de Dióxido de Carbono Produzido

VO<sub>2</sub>: Volume de Oxigénio Consumido

**Sumário**

Resumo .....	i
Abstract .....	ii
Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos .....	iii
Sumário .....	iv
Introdução.....	1
Objetivos .....	3
Metodologia.....	3
Desenvolvimento .....	4
1. Calorimetria Indireta e calorímetros .....	4
2. Calorimetria Indireta <i>versus</i> outros métodos para avaliar o GER do DC ....	5
3. GER <i>versus</i> necessidades energéticas .....	8
4. Calorímetro de Nova Geração: <i>Q-NRG</i> ® .....	11
5. Outras aplicações da Calorimetria Indireta .....	12
Análise Crítica .....	13
Conclusões .....	14
Referências .....	16
Anexos .....	19

## Introdução

O doente crítico (DC) é aquele que, devido a agressão aguda, desenvolve uma resposta inflamatória intensa com falência de pelo menos um órgão (índice SOFA>4)<sup>(1)</sup>. Esta resposta caracteriza-se por um conjunto de alterações fisiológicas e metabólicas que ocorrem em duas fases distintas: a fase aguda e a fase crónica<sup>(2, 3)</sup>.

A fase aguda tem a duração de aproximadamente sete dias, estando dividida no período inicial (primeiros dois dias) e no período tardio (do terceiro ao sétimo dia)<sup>(3, 4)</sup>. Durante a fase aguda, e principalmente no seu período inicial, existe uma ativação de vias inflamatórias, imunológicas e hormonais, que culmina na libertação de citocinas pró-inflamatórias e de hormonas catabólicas<sup>(4)</sup>. Em consequência, aumentam os processos de gliconeogénese, glicogenólise, mobilização de ácidos gordos e de proteólise muscular, resultando na produção de uma fonte de energia endógena fundamental para o bom funcionamento dos órgãos vitais. Paralelamente, o consumo de oxigénio ( $O_2$ ) parece descer para valores próximos dos basais, devido a uma diminuição da função mitocondrial, possivelmente como estratégia adaptativa para evitar a morte celular por sobrecarga de substrato energético<sup>(2)</sup>.

Na fase crónica, a produção de energia endógena diminui e, simultaneamente, o consumo de  $O_2$  e o gasto energético de repouso (GER) aumentam. Idealmente, o DC entra numa fase de recuperação que se caracteriza por um aumento do anabolismo e cuja duração poderá ir de semanas a meses<sup>(2, 4)</sup>. Não obstante, em alguns casos, pode persistir um quadro de inflamação, imunossupressão e

catabolismo, que obriga a um internamento prolongado na Unidade de Cuidados Intensivos (UCI).

Para além da fase da doença em que se encontra, outros fatores iatrogénicos e individuais influenciam o GER do DC, fazendo com que seja muito variável no decurso da doença, no mesmo doente e entre doentes<sup>(2)</sup>. A raça caucasiana, a obesidade, a sobrealimentação, a hipertermia, o hipertiroidismo, a hiperventilação, o stress, a presença de acidose metabólica, de inflamação sistémica/sépsis e de queimaduras são fatores que parecem aumentar o GER. Por outro lado, o sexo feminino, a sarcopenia, a caquexia, a subalimentação, a hipotermia, o hipotiroidismo, a hipoventilação, o coma/paralisia, a presença de alcalose metabólica, e o uso de beta bloqueadores, de sedativos e/ou de relaxantes musculares estão possivelmente associados a uma diminuição do GER do DC<sup>(5-8)</sup>.

Face à multiplicidade de fatores que interferem com GER do DC, torna-se crucial a escolha do método exato e preciso para fazer a sua determinação e monitorização e, desta forma, estimar as necessidades energéticas da forma mais individualizada possível<sup>(9)</sup>.

A Calorimetria Indireta (CI) é considerada o *gold standard* para avaliar o GER do DC, sendo recomendada por todas as sociedades internacionais, incluindo as mais conceituadas *European Society for Clinical Nutrition and Metabolism* (ESPEN) e *American Society for Parenteral and Enteral Nutrition* (ASPEN)<sup>(10, 11)</sup>. Não obstante, a maioria dos calorímetros, atualmente disponíveis no mercado, apresentam limitações que têm dificultado o seu uso na prática clínica. <sup>(2, 6, 12)</sup>. Em alternativa, outros métodos têm sido utilizados para estimar o GER e as necessidades energéticas do DC<sup>(9)</sup>.

## Objetivos

Posto isto, a presente revisão temática tem como objetivos averiguar a superioridade da CI, face a outros métodos, para avaliar o GER do DC adulto e estimar as suas necessidades energéticas, bem como explorar outras potencialidades da CI que justifiquem a relevância do seu uso no DC.

## Metodologia

A pesquisa foi realizada na base de dados “*Pubmed*”. Primeiramente, foi definida uma expressão de pesquisa, com recurso aos descritores *Medical Subject Headings (MeSH)*: “*Calorimetry, Indirect*”[MeSH] AND “*Energy Metabolism*”[MeSH] AND “*Critical Illness*”[MeSH]. Foram apenas considerados artigos de revisão, meta-análises e revisões sistemáticas. A sua análise teve como propósito uma familiarização com o tema e identificação de termos equivalentes para definição da expressão final de pesquisa: (“*Indirect Calorimetry*” OR “*Respiration Calorimetry*”) AND (“*Energy Expenditure*” OR “*Energy Metabolism*” OR “*Caloric Requirements*” OR “*Energy Requirements*” OR “*Resting Energy Expenditure*” OR “*Measured Energy Expenditure*” OR “*Estimated Energy Expenditure*”) AND (“*Critical Ill Patients*” OR “*Critical Illness*”). Apenas foram considerados artigos referentes aos últimos 10 anos e foi aplicado o filtro “adultos: 19 + anos”. Os artigos foram exportados para o *Endnote*, tendo sido eliminados os duplicados. Aqueles cujo título e/ou resumo não se enquadravam no tema da presente revisão temática foram eliminados. Pontualmente, foram selecionadas referências pertinentes de alguns dos artigos científicos consultados e de entidades internacionais.

## Desenvolvimento

### 1. Calorimetria Indireta e calorímetros

A nível celular, a oxidação de substratos (proteína, hidratos de carbono e lípidos) na presença  $O_2$  resulta na produção de trifosfato de adenosina (ATP), água ( $H_2O$ ), nitrogénio ( $N_2$ ) e dióxido de carbono ( $CO_2$ ). A CI é, então, um método não invasivo que mede o oxigénio consumido ( $VO_2$ ) e o dióxido de carbono produzido ( $VCO_2$ ), durante a respiração (Figura 1 em Anexos)<sup>(2, 12)</sup>. O GER é, depois, calculado com base na Equação de *Weir* modificada e abreviada, assumindo que o volume de  $N_2$  inspirado é igual ao volume de  $N_2$  expirado e, portanto, desprezível:  $GER$  (kcal/dia) =  $1,44 \times ([VO_2$  (mL/min)  $\times 3,94] + [VCO_2$  (mL/min)  $\times 1,11])$ <sup>(4, 12, 13)</sup>.

A CI pode ser aplicada a doentes mecanicamente ventilados, integrando o calorímetro ao sistema de ventilação, e a doentes sem necessidade de ventilação mecânica, integrando o calorímetro a uma cúpula (“*canopy dilution mode*”) ou a uma máscara facial (Figura 2 em Anexos)<sup>(6)</sup>. No entanto, nem todos os calorímetros atualmente disponíveis no mercado, se encontram aptos a funcionar nos dois modos<sup>(6)</sup>. Além desta limitação, outras barreiras têm restringido o seu uso na UCI, nomeadamente: a exigência de um tempo de calibração e aquecimento de até 30 minutos antes de cada medição e 45 a 60 minutos para obter a medida do GER; a necessidade de desinfeção antes de cada utilização e de computadores especializados para guardar e analisar os dados; as grandes dimensões dos calorímetros; o uso limitado a doentes com uma fração inspirada de oxigénio ( $FiO_2$ )  $\leq 60\%$  e os custos elevados<sup>(2, 6, 12)</sup>. Outras limitações estão também associadas a quaisquer condições que perturbem a capacidade de medir corretamente as trocas gasosas, tais como fugas no sistema de ventilação ou humidade no analisador de

gases, e a características clínicas ou terapêuticas que implicam adição ou eliminação de O<sub>2</sub> e de CO<sub>2</sub> do circuito respiratório, como fístulas broncopleurais, hemodiálise em curso na altura da medição e administração de O<sub>2</sub> a doentes em respiração espontânea<sup>(2)</sup>.

Além disso, quando comparados com o calorímetro de referência (*Deltatrac Metabolic Monitor*®), atualmente descontinuado, também se mostraram menos precisos<sup>(14)</sup>.

## 2. Calorimetria Indireta *versus* outros métodos para avaliar o GER do DC

As Equações Preditivas constituem o método alternativo à CI, mais utilizado na UCI, por serem facilmente aplicáveis e não terem qualquer custo associado<sup>(9)</sup>. Atualmente, existem mais de 200 Equações Preditivas para estimar o GER, estando as mais comumente usadas no DC descritas na Tabela 1 (em Anexos) <sup>(9, 15, 16)</sup>.

A maioria destas Equações foi inicialmente desenvolvida para indivíduos saudáveis, usando apenas variáveis como a idade e/ou medidas antropométricas como o peso corporal (pc) e a estatura<sup>(9)</sup>. Adicionalmente, outras Equações foram especificamente desenvolvidas para doentes hospitalizados e/ou críticos contemplando, para além das variáveis referidas anteriormente, outras relativas à severidade da doença, frequência cardíaca e/ou ventilação mecânica<sup>(9, 16, 17)</sup>. De notar que, a inclusão da variável pc é comum à maioria das Equações Preditivas. No entanto, sabe-se que muitas vezes, devido à gravidade da doença, não é possível pesar o DC ou mesmo sendo possível avaliar o pc, este parâmetro encontra-se frequentemente influenciado pelo balanço hídrico, afastando-se significativamente do valor real resultando no enviesamento da estimativa do

GER. *Graf et al.* demonstraram que nenhuma Equação Preditiva é suficientemente precisa em comparação com a CI, independentemente do pc usado: relatado, medido, ajustado, ideal para o Índice de Massa Corporal (IMC) de 22,5 Kg/m<sup>2</sup> ou 25 kg/m<sup>2</sup>(16).

Evidência proveniente de vários estudos indica que o valor de GER estimado através de Equações Preditivas apresenta baixa concordância (variabilidade >10%) quando comparado com o valor de GER medido através de CI, no DC(17-23). Sendo que, a variabilidade parece aumentar com valores extremos de IMC, idade e severidade da doença(23-26). Adicionalmente, os resultados de uma revisão sistemática demonstraram que 12% das Equações Preditivas revistas sobestimam e que 38% subestimam o GER do DC, em comparação com a CI(17). De forma semelhante, um estudo retrospectivo que incluiu 1140 doentes e 3573 medições do GER, indica que a precisão das Equações Preditivas não superou os 50%, independentemente da Equação utilizada, em comparação com a CI(18).

O método de avaliação do GER através do VCO<sub>2</sub> derivado do ventilador é uma abordagem que utiliza medições do VCO<sub>2</sub> feitas por capnografia volumétrica, no DC com necessidade de ventilação mecânica. O GER é calculado através da Equação de *Weir* modificada e abreviada, onde o VO<sub>2</sub> é obtido por meio do Quociente Respiratório (QR), assumindo que o  $QR = VCO_2 / VO_2$ , e que o QR corresponde a um valor fixo de 0,86 ou que é igual ao quociente alimentar (QA). O QA pode ser calculado com base na composição das fontes de energia administradas e respetivo QR, através da seguinte equação:  $QA = [gordura (\%) \times 0,7] + [proteína (\%) \times 0,8] + [hidratos de carbono (\%) \times 1,0]$  (27).

Um estudo observacional prospetivo, que incluiu 84 DCs mecanicamente ventilados, mostrou que o método VCO<sub>2</sub> derivado do ventilador é exato e mais

preciso do que as Equações Preditivas, considerando-o uma alternativa à CI<sup>(28)</sup>. Contrariamente, um estudo de coorte prospectivo que incluiu 31 DCs mecanicamente ventilados e 414 medições do GER, demonstrou que o método VCO<sub>2</sub> derivado do ventilador, em comparação com a CI, sobrestima o GER. Embora a confiabilidade se tenha mostrado aceitável, o viés foi significativo, e a exatidão e precisão inaceitavelmente baixas, independentemente de ser usado um valor de QR igual ao quociente alimentar ou um valor fixo de 0,86. Adicionalmente, os resultados do mesmo estudo demonstraram que o nível de concordância entre os valores obtidos através do VCO<sub>2</sub> derivado do ventilador e os obtidos por CI é baixo<sup>(27)</sup>.

O cateter de *Swan-Ganz*, também conhecido como cateter de artéria pulmonar, é utilizado na UCI para avaliar a função cardíaca e o estado hemodinâmico dos doentes. Permite fazer a medição de várias variáveis hemodinâmicas importantes, como o débito cardíaco, a concentração de hemoglobina (Hb) e a percentagem de hemoglobina ligada ao O<sub>2</sub> no sangue arterial (SaO<sub>2</sub>) e no sangue venoso misto (SvO<sub>2</sub>)<sup>(6, 9)</sup>.

O Método de *Fick* usa os valores dessas medições e calcula o GER, com recurso à equação:  $GER (kcal/dia) = Débito\ cardíaco (L/min) \times Hb (g/dL) \times [SaO_2(\%) - SvO_2(\%)] \times 95.18^{(9)}$ . As *guidelines* da ESPEN, consideram-no uma alternativa à CI, recomendando o seu uso, sempre que possível, em detrimento das Equações Preditivas<sup>(3)</sup>. No entanto, a evidência é controversa, sendo que, a correlação e concordância entre o GER medido por CI e o GER estimado pelo Método de *Fick* é extremamente variável entre estudos<sup>(9, 29)</sup>. Para além disso, tratando-se de um

método invasivo, com risco de infecção e complicações vasculares, não parece justificar-se o seu uso apenas com o propósito de estimar o GER<sup>(6, 9)</sup>.

### 3. GER *versus* necessidades energéticas

No decurso da doença crítica, o GER nem sempre parece refletir as necessidades energéticas do DC. Nomeadamente, durante a fase aguda da doença crítica, na qual a fonte de energia endógena produzida pode cobrir mais de metade do GER<sup>(30)</sup>.

No DC, e contrariamente ao observado em indivíduos saudáveis, em períodos de jejum prolongado, a produção de energia endógena não parece ser suprimida pela alimentação exógena, sendo máxima no período inicial da doença crítica<sup>(2, 30)</sup>. Assim, durante esta fase, fornecer uma quantidade de energia igual ao GER medido/estimado poderá resultar em sobrealimentação e/ou *refeeding*. Pelo contrário, na fase crónica da doença crítica, a produção de energia endógena encontra-se suprimida e o GER parece atingir o seu valor máximo. Em consequência, aumenta o risco de subalimentação (Figura 3 em Anexos)<sup>(2)</sup>.

Para além disso, o DC necessita frequentemente de medicamentos anestésicos como o propofol (1,1 kcal/ml) e de soluções de glicose que, em função da dose administrada, podem ser fornecedores consideráveis de energia e, portanto, devem ser tidos em conta na determinação do alvo energético a atingir por cada DC<sup>(31)</sup>.

Tanto a sobrealimentação quanto a subalimentação se encontram associadas a efeitos nefastos para o DC. O fornecimento insuficiente de energia parece estar associado a um aumento do risco de hipoglicemia, hipotermia, complicações infecciosas, dificuldades na cicatrização e perda de massa gorda e muscular. Por

outro lado, o fornecimento excessivo de energia aumenta o risco de hiperglicemia, hipertrigliceridemia, esteatose hepática e complicações infecciosas<sup>(6)</sup>. Além disso, é importante considerar o risco de *refeeding* no DC, que pode ocorrer quando as fontes de energia exógena são reintroduzidas após um período de desnutrição ou jejum prolongado, aumentando o risco de hipofosfatemia, hipocalcemia e hipomagnesemia<sup>(32, 33)</sup>.

Acresce que, nenhum método de avaliação do GER é capaz de distinguir a contribuição dos substratos exógenos e endógenos para a produção total de energia, nem mesmo a CI, pois mede o  $VO_2$  e  $VCO_2$ , em resultado da oxidação total dos substratos. Por conseguinte, torna-se difícil definir o *timing* ideal para cobrir a totalidade do GER medido/estimado, através do fornecimento de fontes de energia exógenas, por via oral, entérica e/ou parentérica<sup>(30)</sup>.

As *guidelines* da ESPEN recomendam que, nos primeiros 3 dias de internamento na UCI, seja fornecida uma nutrição hipocalórica, não excedendo os 70% do GER medido por CI ou estimado através do  $VCO_2$  derivado do ventilador ou  $VO_2$  obtido através do cateter da artéria pulmonar. Sendo que, a mesma entidade recomenda que se o GER for estimado com recurso a Equações Preditivas o fornecimento da nutrição hipocalórica deve prolongar-se durante a primeira semana de internamento na UCI. Após esse período, a ESPEN sugere que seja administrada de forma progressiva uma nutrição isocalórica: entre 80 e 100% do GER medido/estimado (Figura 4 em Anexos)<sup>(3, 34)</sup>. Em relação à via de alimentação, a terapêutica médica nutricional deve ser considerada em todos os DCs internados por um período superior a 48h, devido ao risco de desnutrição. Sendo que, nos doentes capazes de se alimentar por via oral, garantindo o suprimento de 70% das

suas necessidades energéticas, desde terceiro ao sétimo dia de internamento, sem risco de vômito ou de aspiração e contraindicação médica ou cirúrgica, esta via deve ser escolhida em detrimento da via entérica ou parentérica. Na impossibilidade de alimentação por via oral, deve fazer-se introdução precoce (dentro de 48h) da nutrição entérica. De forma a evitar a sobrealimentação, as necessidades proteicas e energéticas devem ser atingidas de forma lenta e progressiva, ao longo dos 3 a 7 dias de internamento, com vista ao atingimento de mais do 70% GER, nunca excedendo os 100%. Em caso de contraindicação para nutrição entérica e presença de malnutrição, a nutrição parentérica precoce deve ser considerada uma possibilidade, devendo fazer-se a introdução precoce (dentro de 48h). No caso de ausência de malnutrição, a nutrição parentérica deve ser adiada, recomendando-se que seja implementada dentro de 3 a 7 dias, preferencialmente de forma parcial, e apenas quando todas as estratégias para melhoria da tolerância à nutrição entérica tiverem sido testadas (Figura 5 em Anexos)<sup>(3, 34)</sup>.

De facto, os resultados do estudo de *Zusman et al.* parecem corroborar as recomendações da ESPEN. Os autores descrevem a presença de uma relação não linear, resultando na existência de uma “curva em U”, entre a percentagem do GER administrado sob a forma de energia e a mortalidade avaliada aos 60 dias de internamento na UCI (Figura 6 em Anexos). O fornecimento de entre 70% a 100% do GER medido por CI sob a forma de energia parece reduzir o risco de mortalidade, enquanto o fornecimento de uma quantidade de energia abaixo ou acima desses limites possivelmente está associada a um aumento do risco de mortalidade<sup>(35)</sup>.

#### 4. Calorímetro de Nova Geração: Q-NRG®

O *International Multicentric Study Group for Indirect Calorimetry (ICALIC)* desenvolveu e validou um calorímetro de nova geração: Q-NRG®. Encontra-se, atualmente, aprovado pela *Food and Drug Administration* e globalmente disponível, desde 2017<sup>(6)</sup>. Tal como o *Deltatrac Metabolic Monitor®*, usa a tecnologia “*mixing-chamber*”, que permite uma redução no tempo de estabilização da concentração dos gases e diminui a variabilidade dos valores de  $VO_2$  e de  $VCO_2$ , em comparação com a tecnologia “*breath-by-breath*” usada na maioria dos calorímetros. A única particularidade é que a câmara de troca de gases é miniaturizada, permitindo a conceção de calorímetros de muito menores dimensões<sup>(12)</sup>. O Q-NRG® pode ser usado em doentes mecanicamente ventilados, integrando o calorímetro ao sistema de ventilação e em doentes sem necessidade de ventilação mecânica, integrando o calorímetro a uma cúpula ou a uma máscara facial<sup>(36)</sup>.

A precisão e exatidão do Q-NRG® foram validadas *in vitro* contra o método *gold standard* usado para medir a composição dos gases: espectrómetro de massa, em doentes críticos com necessidade de ventilação mecânica. O  $VO_2$  e  $VCO_2$ , obtidos com recurso ao Q-NRG®, nas análises de simulação de troca gasosa mostraram-se exatos (erro < 5%) para valores de  $FiO_2$  de até 70%<sup>(37)</sup>. De notar que, até então, todos os outros calorímetros apenas se mostraram exatos para valores de  $FiO_2$  de até 60%<sup>(38)</sup>. Adicionalmente, outro estudo, avaliou a precisão e exatidão *in vitro* e *in vivo* do Q-NRG®, em doentes críticos sem necessidade de ventilação mecânica (“*canopy dilution mode*”). Tanto as medidas *in vitro*, quanto as medidas *in vivo* de  $VO_2$ ,  $VCO_2$ , QR e GER em 3 calorímetros Q-NRG® mostraram diferenças mínimas

em comparação com os valores esperados e com espectrómetro de massa e uma variabilidade intra e interindividual muito baixa<sup>(36)</sup>.

Um estudo multicentro demonstrou que o *Q-NRG*®, em comparação com outros calorímetros (*Deltatrac Metabolic Monitor*®, *Quark RMR*® e *E-COVX*®), requer um tempo muito menor (aproximadamente 10 minutos) para determinar o GER, em doentes com necessidade de ventilação mecânica<sup>(39)</sup>.

O *Q-NRG*® parece ter vindo colmatar muitas das limitações dos calorímetros até então disponíveis no mercado: todos os dispositivos são portáteis e de reduzidas dimensões, não exigem aquecimento nem calibração, são de fácil desinfeção e mais económicos<sup>(12)</sup>.

## 5. Outras aplicações da Calorimetria Indireta

Evidência proveniente de estudos recentes sugere que a CI terá outras potencialidades, além da avaliação do GER com o objetivo de determinar as necessidades energéticas<sup>(40-42)</sup>. A CI, quando realizada diariamente, permite monitorizar de forma contínua a evolução do GER, em cada doente crítico. Desta forma, um aumento do GER poderá ser sugestivo de sobrealimentação, hipertermia, hipertiroidismo, ventilação aumentada, stress, inflamação ou acidose metabólica enquanto uma diminuição no valor de GER poderá ser sugestivo de subalimentação, hipotermia, hipotiroidismo, alcalose metabólica ou diminuição da massa magra<sup>(2, 43)</sup>.

Por outro lado, os valores de  $VO_2$  e de  $VCO_2$  obtidos por CI em conjunto com o valor de lactato sanguíneo podem ser úteis como ferramenta de prognóstico, no DC adulto com sépsis mecanicamente ventilado. *Hoeyer-Nielsen et al.* investigaram a associação entre o  $VO_2$  e a sobrevivência através de um estudo de

coorte retrospectivo, em 48 DCs adultos com sépsis mecanicamente ventilados. Verificaram uma diminuição no rácio  $VO_2$ /lactato e no  $VCO_2$  ao longo do tempo, entre os não sobreviventes<sup>(41)</sup>. De forma semelhante, um estudo prospetivo de *Hirayama et al.*, em 34 DCs adultos com sépsis mecanicamente ventilados, mostrou que os valores de  $VO_2$  e  $VCO_2$  diminuíram ao longo do tempo em todos os não sobreviventes, enquanto as concentrações de lactato aumentaram<sup>(40)</sup>.

Adicionalmente, através do rácio entre o valor de  $VCO_2$  e o  $VO_2$  é possível calcular o QR. O valor de QR fornece informações importantes, que permitem ajustar a terapêutica nutricional de forma individualizada em termos de energia e percentagem de substratos administrados. Um valor de  $QR > 1$  é sugestivo de sobrealimentação, devendo ser reduzido o aporte energético fornecido. Já um valor de QR situado entre 0,90 e 1,0 indica que o principal substrato oxidado são os hidratos de carbono, devendo ser diminuído o aporte destes e aumentado o aporte de lípidos. Por outro lado, um valor de QR situado entre 0,80 e 0,90 assume-se como um valor ideal, sendo indicativo de uma oxidação equivalente de hidratos de carbono, lípidos e proteínas e de um aporte energético ótimo. Finalmente, um valor de QR situado entre 0,70 e 0,80 é sugestivo de subalimentação, devendo ser aumentado o aporte energético preferencialmente através de hidratos de carbono<sup>(44)</sup>.

### **Análise Crítica**

Uma meta-análise, que incluiu 8 estudos randomizados controlados, mostrou que a estimativa das necessidades energéticas tendo por base o GER medido por CI em comparação com o GER estimado através de Equações Preditivas, diminuiu em 23% o risco de mortalidade a curto prazo (até 90 dias após

admissão na UCI)<sup>(45)</sup>. Contrariamente, uma meta-análise que inclui 9 estudos randomizados controlados, não mostrou diferenças significativas na mortalidade por todas as causas quando as necessidades foram estimadas por CI ou através de Equações Preditivas<sup>(46)</sup>. Em ambas as meta-análises, não se verificaram diferenças significativas na mortalidade a longo prazo (até 180 dias após a alta da UCI), no tempo de ventilação, no tempo de internamento e no número de infeções entre o grupo de intervenção e o grupo de controlo<sup>(45, 46)</sup>.

À luz da evidência atual, a maioria dos estudos randomizados controlados não parecem mostrar um claro benefício na utilização de CI, em termos de impacto clínico. Ainda assim, este continua a ser o único método capaz de estimar de forma exata e precisa o GER e de fazer a sua monitorização ao longo do internamento na UCI, evitando os possíveis efeitos nefastos associados à subalimentação e sobrealimentação.

Por conseguinte, várias abordagens práticas têm sido sugeridas, no sentido de implementar a CI, como parte da intervenção nutricional no DC, não colocando ainda de parte os outros métodos de avaliação do GER, mas enfatizando o uso da CI sempre que possível e principalmente, em situações e/ou condições específicas (Figura 7 em Anexos). De facto, a formulação destas abordagens práticas, em conjunto com o desenvolvimento do calorímetro de nova geração (*Q-NRG*®) e com a inserção de Nutricionistas integrados em equipas multidisciplinares tornam cada vez mais viável a implementação da CI, na UCI, como parte de uma intervenção nutricional personalizada no DC.

## **Conclusões**

A CI é inequivocamente o *gold standard* para avaliar o GER do DC, oferecendo uma precisão que os métodos alternativos, nomeadamente as

Equações Preditivas, não conseguem alcançar. Por outro lado, o desenvolvimento de um calorímetro de nova geração, apto para ser usado em pacientes com e sem necessidade de ventilação mecânica, e o facto de se tratar de um método não invasivo reforçam a superioridade da CI face ao  $VCO_2$  derivado do ventilador e Método de Fick, na avaliação do GER do DC. Não obstante, a evidência relativa ao impacto clínico da CI na UCI é escassa e controversa, principalmente no que concerne à mortalidade. Além disso, a contribuição de energia endógena produzida na fase inicial da doença crítica não pode ser medida, por nenhum método, permanecendo alguma incerteza relativamente ao timing e quantidade de energia ideais a fornecer ao DC.

Ainda assim, partir de uma estimativa mais exata do GER, através do uso de CI, será sempre preferencial para definir as necessidades energéticas a atingir pelo DC, evitando os riscos de subalimentação e/ou *refeeding* e de sobrealimentação. Adicionalmente, a CI parece ter outras aplicações, além da avaliação do GER, que potencialmente justificam a relevância do seu uso na UCI, nomeadamente na atual Era da Nutrição de Precisão.

***“As we have often said on rounds, we would not give vasopressors without measuring blood pressure, neither should we be blindly delivering nutrition without objective IC measures to guide its optimal administration.”***

*(De Waele, E et al., 2021)*

## Referências

1. Singer P, Berger MM, Van den Berghe G, Biolo G, Calder P, Forbes A, et al. ESPEN Guidelines on Parenteral Nutrition: intensive care. *Clin Nutr.* 2009; 28(4):387-400.
2. Moonen H, Beckers KJH, van Zanten ARH. Energy expenditure and indirect calorimetry in critical illness and convalescence: current evidence and practical considerations. *J Intensive Care.* 2021; 9(1):8.
3. Singer P, Blaser AR, Berger MM, Calder PC, Casaer M, Hiesmayr M, et al. ESPEN practical and partially revised guideline: Clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr.* 2023; 42(9):1671-89.
4. Al-Dorzi HM, Arabi YM. Nutrition support for critically ill patients. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2021; 45(S2):47-59.
5. Delsoglio M, Achamrah N, Berger MM, Pichard C. Indirect Calorimetry in Clinical Practice. *J Clin Med.* 2019; 8(9)
6. Oshima T, Berger MM, De Waele E, Guttormsen AB, Heidegger CP, Hiesmayr M, et al. Indirect calorimetry in nutritional therapy. A position paper by the ICALIC study group. *Clin Nutr.* 2017; 36(3):651-62.
7. Gupta RD, Ramachandran R, Venkatesan P, Anoop S, Joseph M, Thomas N. Indirect Calorimetry: From Bench to Bedside. *Indian J Endocrinol Metab.* 2017; 21(4):594-99.
8. Mtaweh H, Soto Aguero MJ, Campbell M, Allard JP, Pencharz P, Pullenayegum E, et al. Systematic review of factors associated with energy expenditure in the critically ill. *Clin Nutr ESPEN.* 2019; 33:111-24.
9. Cordoza M, Chan LN, Bridges E, Thompson H. Methods for Estimating Energy Expenditure in Critically Ill Adults. *AACN Adv Crit Care.* 2020; 31(3):254-64.
10. Noyahr JK, Tatucu-Babet OA, Chapple LS, Barlow CJ, Chapman MJ, Deane AM, et al. Methodological Rigor and Transparency in Clinical Practice Guidelines for Nutrition Care in Critically Ill Adults: A Systematic Review Using the AGREE II and AGREE-REX Tools. *Nutrients.* 2022; 14(13)
11. Cattani A, Teixeira PP, Silva FM. A systematic review on the agreement between clinical practice guidelines regarding the steps of the nutrition care process of adult patients who are critically ill. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2022; 46(8):1769-86.
12. Achamrah N, Delsoglio M, De Waele E, Berger MM, Pichard C. Indirect calorimetry: The 6 main issues. *Clin Nutr.* 2021; 40(1):4-14.
13. Haugen HA, Chan LN, Li F. Indirect calorimetry: a practical guide for clinicians. *Nutr Clin Pract.* 2007; 22(4):377-88.
14. Graf S, Karsegard VL, Viatte V, Heidegger CP, Fleury Y, Pichard C, et al. Evaluation of three indirect calorimetry devices in mechanically ventilated patients: which device compares best with the Deltatrac II(®)? A prospective observational study. *Clin Nutr.* 2015; 34(1):60-5.
15. Guttormsen AB, Pichard C. Determining energy requirements in the ICU. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care.* 2014; 17(2):171-76.
16. Graf S, Pichard C, Genton L, Oshima T, Heidegger CP. Energy expenditure in mechanically ventilated patients: The weight of body weight! *Clin Nutr.* 2017; 36(1):224-28.

17. Tatu-Babet OA, Ridley EJ, Tierney AC. Prevalence of Underprescription or Overprescription of Energy Needs in Critically Ill Mechanically Ventilated Adults as Determined by Indirect Calorimetry: A Systematic Literature Review. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2016; 40(2):212-25.
18. Zusman O, Kagan I, Bendavid I, Theilla M, Cohen J, Singer P. Predictive equations versus measured energy expenditure by indirect calorimetry: A retrospective validation. *Clin Nutr.* 2019; 38(3):1206-10.
19. Tignanelli CJ, Andrews AG, Sieloff KM, Pleva MR, Reichert HA, Wooley JA, et al. Are Predictive Energy Expenditure Equations in Ventilated Surgery Patients Accurate? *J Intensive Care Med.* 2019; 34(5):426-31.
20. Kross EK, Sena M, Schmidt K, Stapleton RD. A comparison of predictive equations of energy expenditure and measured energy expenditure in critically ill patients. *J Crit Care.* 2012; 27(3):321.e5-12.
21. Frankenfield D, Hise M, Malone A, Russell M, Gradwell E, Compher C. Prediction of resting metabolic rate in critically ill adult patients: results of a systematic review of the evidence. *J Am Diet Assoc.* 2007; 107(9):1552-61.
22. Boullata J, Williams J, Cottrell F, Hudson L, Compher C. Accurate determination of energy needs in hospitalized patients. *J Am Diet Assoc.* 2007; 107(3):393-401.
23. Frankenfield DC, Coleman A, Alam S, Cooney RN. Analysis of estimation methods for resting metabolic rate in critically ill adults. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 2009; 33(1):27-36.
24. Drolz A, Wewalka M, Horvatits T, Fuhrmann V, Schneeweiss B, Trauner M, et al. Gender-specific differences in energy metabolism during the initial phase of critical illness. *Eur J Clin Nutr.* 2014; 68(6):707-11.
25. Vest MT, Newell E, Shapero M, McGraw P, Jurkovitz C, Lennon SL, et al. Energy balance in obese, mechanically ventilated intensive care unit patients. *Nutrition.* 2019; 66:48-53.
26. De Waele E, Opsomer T, Honoré PM, Diltoer M, Mattens S, Huyghens L, et al. Measured versus calculated resting energy expenditure in critically ill adult patients. Do mathematics match the gold standard? *Minerva Anesthesiol.* 2015; 81(3):272-82.
27. Koekkoek WAC, Xiaochen G, van Dijk D, van Zanten ARH. Resting energy expenditure by indirect calorimetry versus the ventilator-VCO<sub>2</sub> derived method in critically ill patients: The DREAM-VCO<sub>2</sub> prospective comparative study. *Clin Nutr ESPEN.* 2020; 39:137-43.
28. Stapel SN, de Grooth HJ, Alimohamad H, Elbers PW, Girbes AR, Weijs PJ, et al. Ventilator-derived carbon dioxide production to assess energy expenditure in critically ill patients: proof of concept. *Crit Care.* 2015; 19:370.
29. Soussi S, Vallée F, Roquet F, Bevilacqua V, Benyamina M, Ferry A, et al. Measurement of Oxygen Consumption Variations in Critically Ill Burns Patients: Are the Fick Method and Indirect Calorimetry Interchangeable? *Shock.* 2017; 48(5):532-38.
30. Berger MM, Pichard C. Feeding should be individualized in the critically ill patients. *Curr Opin Crit Care.* 2019; 25(4):307-13.
31. van Zanten ARH, De Waele E, Wischmeyer PE. Nutrition therapy and critical illness: practical guidance for the ICU, post-ICU, and long-term convalescence phases. *Crit Care.* 2019; 23(1):368.

32. Olthof LE, Koekkoek W, van Setten C, Kars JCN, van Blokland D, van Zanten ARH. Impact of caloric intake in critically ill patients with, and without, refeeding syndrome: A retrospective study. *Clin Nutr.* 2018; 37(5):1609-17.
33. van Zanten AR. Nutritional support and refeeding syndrome in critical illness. *Lancet Respir Med.* 2015; 3(12):904-5.
34. Singer P, Blaser AR, Berger MM, Alhazzani W, Calder PC, Casaer MP, et al. ESPEN guideline on clinical nutrition in the intensive care unit. *Clin Nutr.* 2019; 38(1):48-79.
35. Zusman O, Theilla M, Cohen J, Kagan I, Bendavid I, Singer P. Resting energy expenditure, calorie and protein consumption in critically ill patients: a retrospective cohort study. *Critical Care.* 2016; 20(1):367.
36. Delsoglio M, Dupertuis YM, Oshima T, van der Plas M, Pichard C. Evaluation of the accuracy and precision of a new generation indirect calorimeter in canopy dilution mode. *Clin Nutr.* 2020; 39(6):1927-34.
37. Oshima T, Dupertuis YM, Delsoglio M, Graf S, Heidegger CP, Pichard C. In vitro validation of indirect calorimetry device developed for the ICALIC project against mass spectrometry. *Clin Nutr ESPEN.* 2019; 32:50-55.
38. McClave SA, Omer E. Point-Counterpoint: Indirect Calorimetry Is not Necessary for Optimal Nutrition Therapy in Critical Illness. *Nutr Clin Pract.* 2021; 36(2):268-74.
39. Oshima T, Delsoglio M, Dupertuis YM, Singer P, De Waele E, Veraar C, et al. The clinical evaluation of the new indirect calorimeter developed by the ICALIC project. *Clin Nutr.* 2020; 39(10):3105-11.
40. Hirayama I, Asada T, Yamamoto M, Hayase N, Hiruma T, Doi K. Changes in carbon dioxide production and oxygen uptake evaluated using indirect calorimetry in mechanically ventilated patients with sepsis. *Crit Care.* 2021; 25(1):416.
41. Hoeyer-Nielsen AK, Holmberg MJ, Grossestreuer AV, Yankama T, Branton JP, Donnino MW, et al. Association Between the Oxygen Consumption: Lactate Ratio and Survival in Critically Ill Patients With Sepsis. *Shock.* 2021; 55(6):775-81.
42. Veraar C, Fischer A, Bernardi MH, Sulz I, Mouhieddine M, Dworschak M, et al. Absent Metabolic Transition from the Early to the Late Period in Non-Survivors Post Cardiac Surgery. *Nutrients.* 2022; 14(16)
43. Yatabe T. Strategies for optimal calorie administration in critically ill patients. *J Intensive Care.* 2019; 7:15.
44. Choo YH, Kim JH, Jung H-W, Kim M, Jeon H, Ha EJ, et al. Clinical Application and Significance of Indirect Calorimetry in Neurocritical Care. *J Neurointensive Care.* 2023; 6(1):1-8.
45. Duan JY, Zheng WH, Zhou H, Xu Y, Huang HB. Energy delivery guided by indirect calorimetry in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care.* 2021; 25(1):88.
46. Sundström Rehal M, Tatucu-Babet OA, Oosterveld T. Indirect calorimetry: should it be part of routine care or only used in specific situations? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2023; 26(2):154-59.

## Anexos

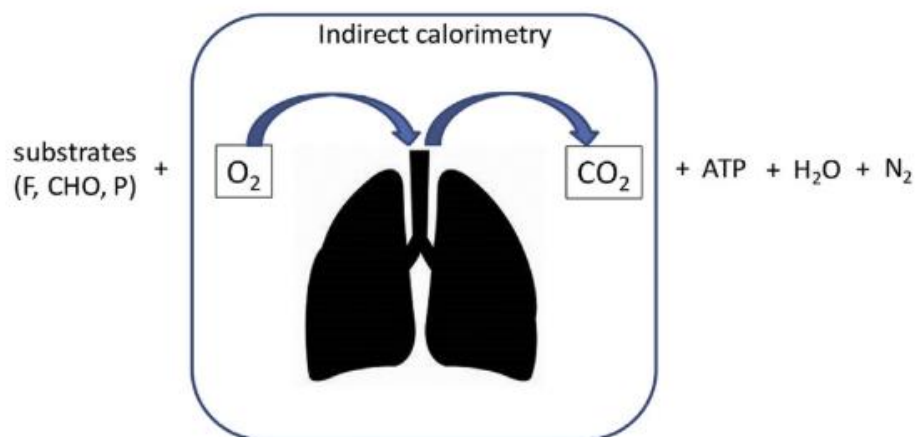
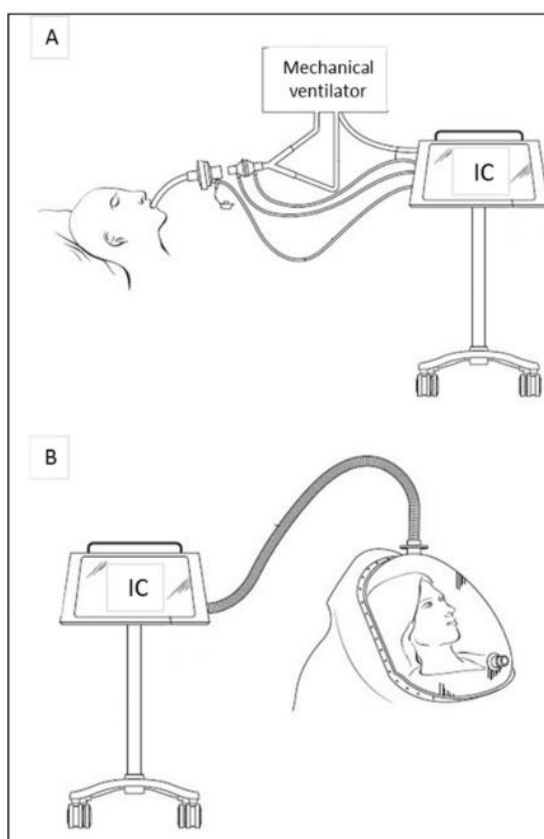
Figura 1: Princípio da Calorimetria Indireta<sup>(12)</sup>.Figura 2: Modos de funcionamento da Calorimetria Indireta. A - Doente mecanicamente ventilado; B - Doente em respiração espontânea (cúpula)<sup>(5)</sup>.

Tabela 1: Equações Preditivas para estimar o Gasto Energético de Repouso do Doente Crítico<sup>9</sup>,

15, 16).

<p><b>Harris Benedict (HB)</b>            Homem: <math>66,47 + 13,75 \times \text{peso (kg)} + 5 \times \text{altura (cm)} - 6,75 \times \text{idade (anos)}</math>            Mulher: <math>655,09 + 9,56 \times \text{peso (kg)} + 1,84 \times \text{altura (cm)} - 4,67 \times \text{idade (anos)}</math></p>
<p><b>HB com fatores de correção de Long (HBL)</b>            HB x fator de atividade x fator clínico x fator temperatura</p>
<p><b>Mifflin St. Jeor (MSJ)</b>            Homem: <math>10 \times \text{peso (kg)} + 6,25 \times \text{altura (cm)} - 5 \times \text{idade (anos)} + 5</math>            Mulher: <math>10 \times \text{peso (kg)} + 6,25 \times \text{altura (cm)} - 5 \times \text{idade (anos)} - 161</math></p>
<p><b>Penn State</b>            2003: <math>0,96 \times \text{MSJ} + 31 \times \text{Ve (L/min)} + 167 \times \text{T(°C)} - 6212</math>            2004: <math>\text{HB} \times 0,85 + \text{Ve (L/min)} \times 33 + \text{T(°C)} \times 175 - 6433</math>            2010: (idade <math>\geq 60</math> anos e IMC <math>\geq 30 \text{ kg/m}^2</math>): <math>0,71 \times \text{MSJ} + 85 \times \text{T(°C)} + 64 \times \text{Ve (L/min)} - 3085</math>            Ve = volume de ar expirado   T= temperatura</p>
<p><b>Ireton-Jones</b>            Doentes Mecanicamente Ventilados: <math>1784 - 11 \times \text{idade (anos)} + 5 \times \text{peso (kg)} + 244</math> (se homem) + 239 (na presença de trauma) + 840 (na presença de queimadura)            Doentes Não Mecanicamente Ventilados: <math>629 - 11 \times \text{idade (anos)} + 25 \times \text{peso (kg)} - 609</math> (se IMC <math>&gt; 27 \text{ Kg/m}^2</math>)</p>
<p><b>American College of Chest Physicians</b>            IMC <math>&lt; 25</math>: peso atual (kg) x 25            IMC <math>\geq 25</math>: peso ideal<sup>a</sup> (kg) x 25  <sup>a</sup> Peso ideal (kg) = <math>50 + 2,3 \times [\text{altura (em cm)} / 2,54 - 60]</math>, se homem  <sup>a</sup> Peso ideal (kg) = <math>45,5 + 2,3 \times [\text{altura (em cm)} / 2,54 - 60]</math>, se mulher</p>
<p><b>Black et al.</b>            Homem: <math>1.083 \times \text{peso (kg)}^{0,48} \times \text{altura(cm)}^{0,50} \times \text{idade (anos)}^{-0,13} \times (1000/4.1855)</math>            Mulher: <math>0.963 \times \text{peso (kg)}^{0,48} \times \text{altura (cm)}^{0,50} \times \text{idade (anos)}^{-0,13} \times (1000/4.1855)</math></p>
<p><b>Brandi et al.</b>  <math>0.96 \times \text{HB} + 7 \times \text{FC (bpm)} + 48 \times \text{Ve (L/min)} - 702</math>            FC- frequência cardíaca</p>
<p><b>Faisy et al.</b>  <math>8 \times \text{peso (kg)} + 14 \times \text{altura (cm)} + 32 \times \text{Ve (L/min)} + 94 \times \text{T(°C)} - 4834</math></p>
<p><b>Swinnamer et al.</b>  <math>945 \times \text{ASC (m}^2) - 6.4 \times \text{idade (anos)} + 108 \times \text{T(°C)} + 24.2 \times \text{FC (bpm)} + 81.7 \times \text{VT (L/min)} - 4349</math>            ASC- área de superfície corporal   VT - volume total de ar inspirado e expirado</p>
<p><b>Frankenfield et al.</b>  <math>0,85 \times \text{HB} + 175 \times \text{T (°C)} + 33 \times \text{Ve (L/min)} - 6433</math></p>
<p><b>Jolliet</b>  <math>5.5 \times \text{Ve (L/min)} + 1,76 \times \text{T(°C)} + 66 \times \text{CV (L)} - 927</math>            CV= capacidade vital</p>
<p><b>European Society for Clinical Nutrition and Metabolism (ESPEN)</b>            Fase aguda: 20-25 kcal x peso (kg)            Fase crónica: 25-30 kcal x peso (kg)</p>
<p><b>American Society for Parental and Enteral Nutrition/Society of Critical Care Medicine (ASPEN/SCCM)</b>            IMC <math>&lt; 30 \text{ kg/m}^2</math>: 25-30 kcal x peso atual (kg)            IMC 30-50 <math>\text{kg/m}^2</math>: 11-14 kcal x peso atual (kg)            IMC <math>&gt; 50 \text{ kg/m}^2</math>: 22-25 kcal x peso atual (kg)</p>

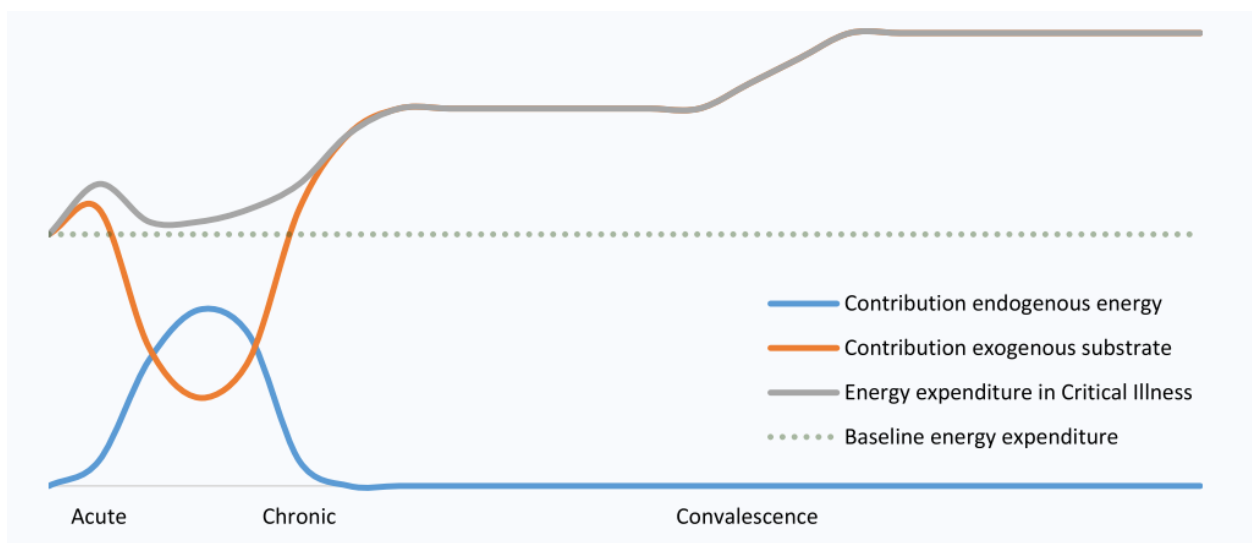


Figura 3: Variação do Gasto Energético de Repouso e contribuição dos substratos endógenos e exógenos de energia no decurso da doença crítica<sup>(2)</sup>.

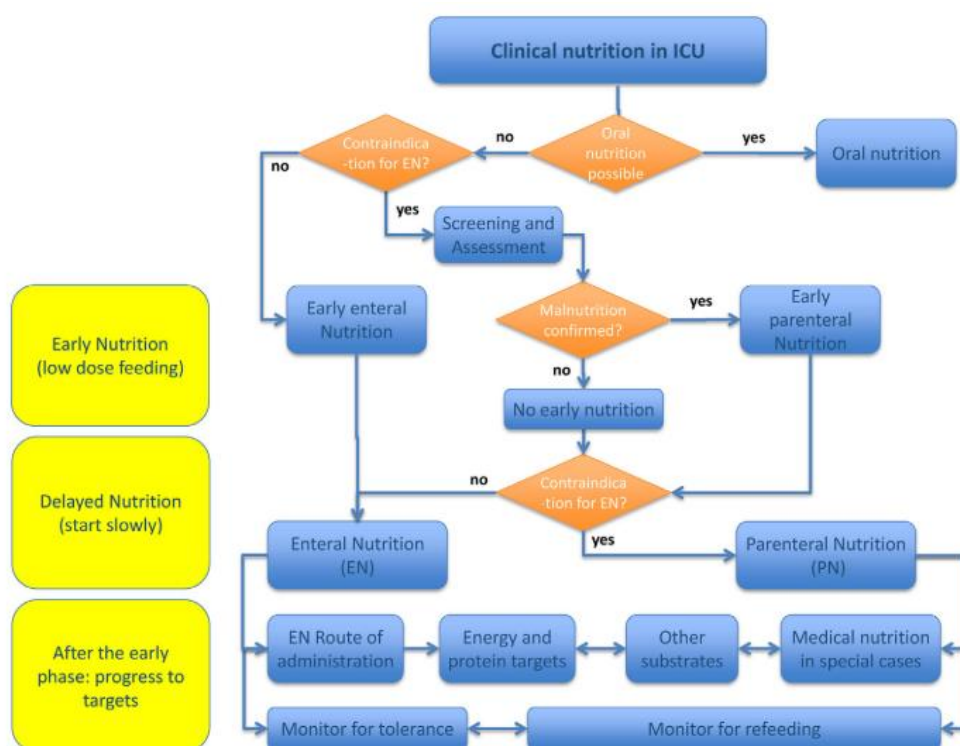


Figura 4: Representação esquemática das *Guidelines* da ESPEN de 2023, relativas à via de alimentação, no Doente Crítico<sup>(3)</sup>.

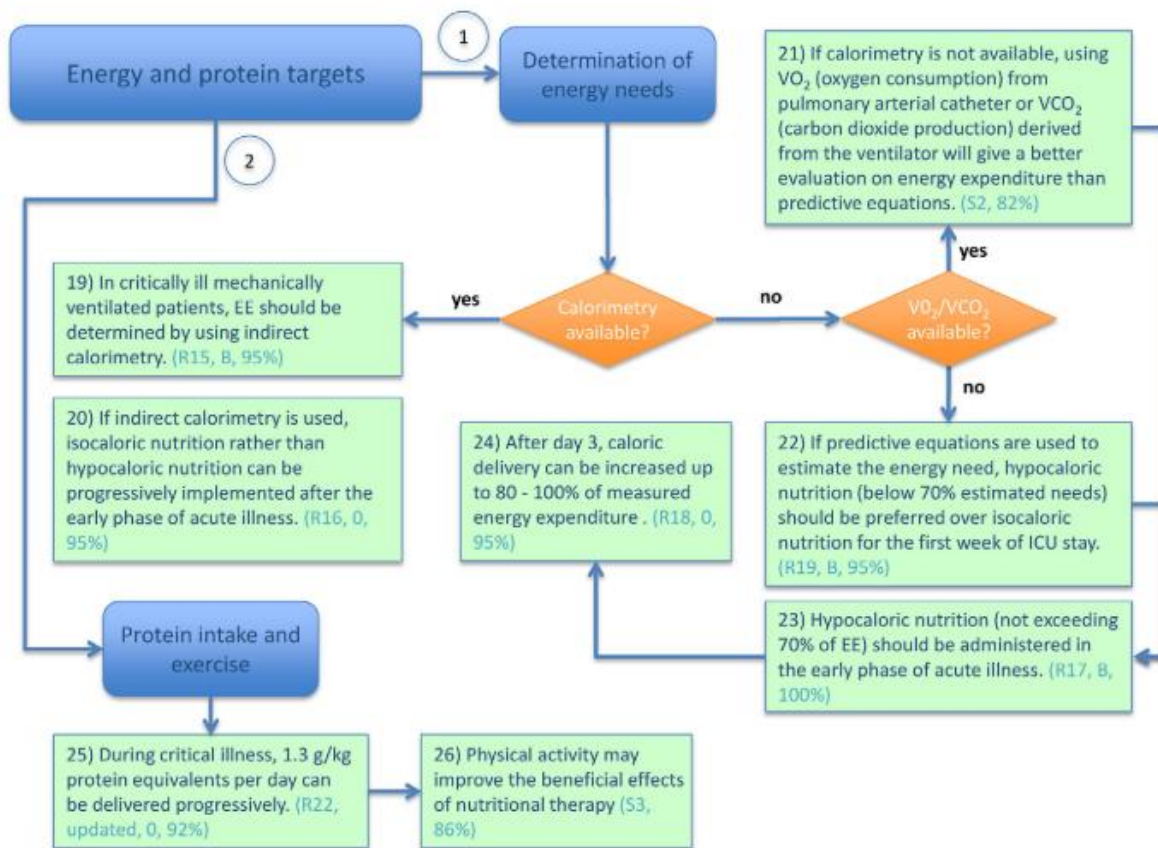


Figura 5: Representação esquemática das *Guidelines* da ESPEN de 2023, relativas às necessidades energéticas e proteicas, no Doente Crítico<sup>(3)</sup>.

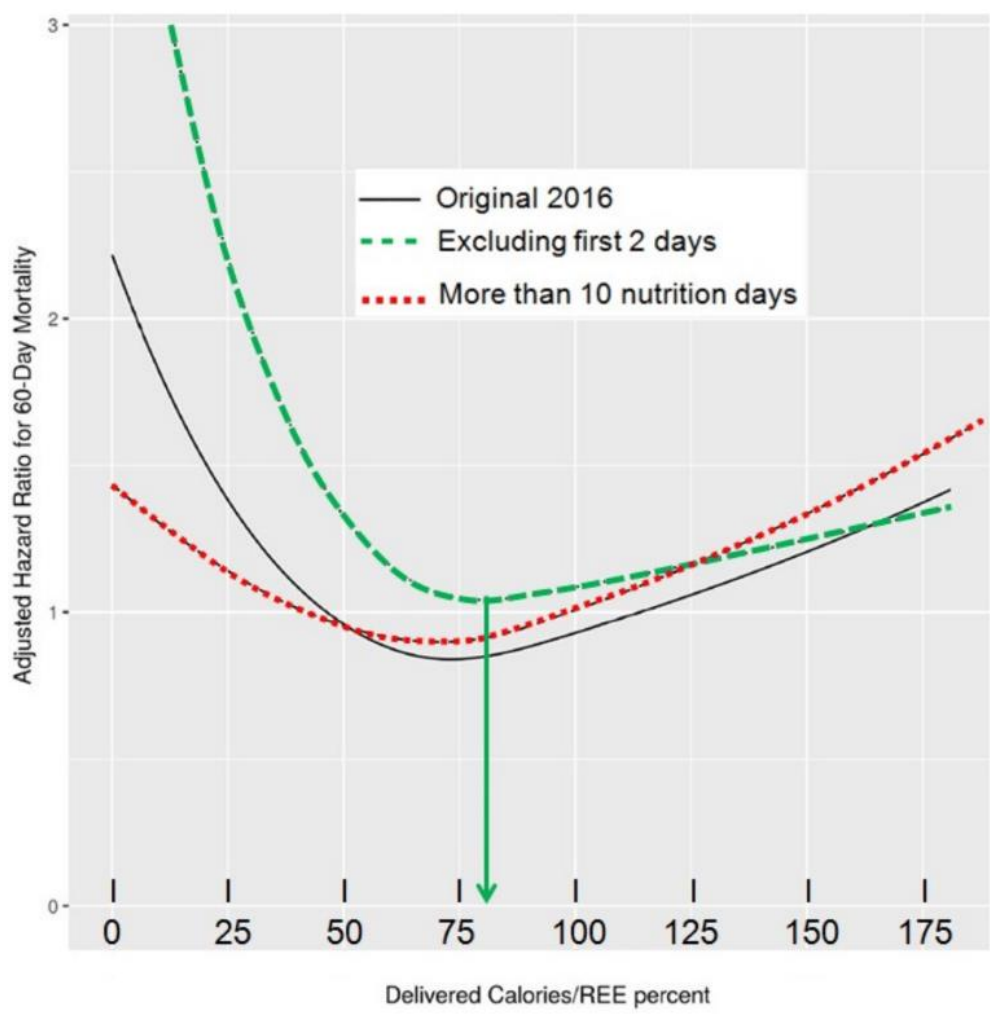


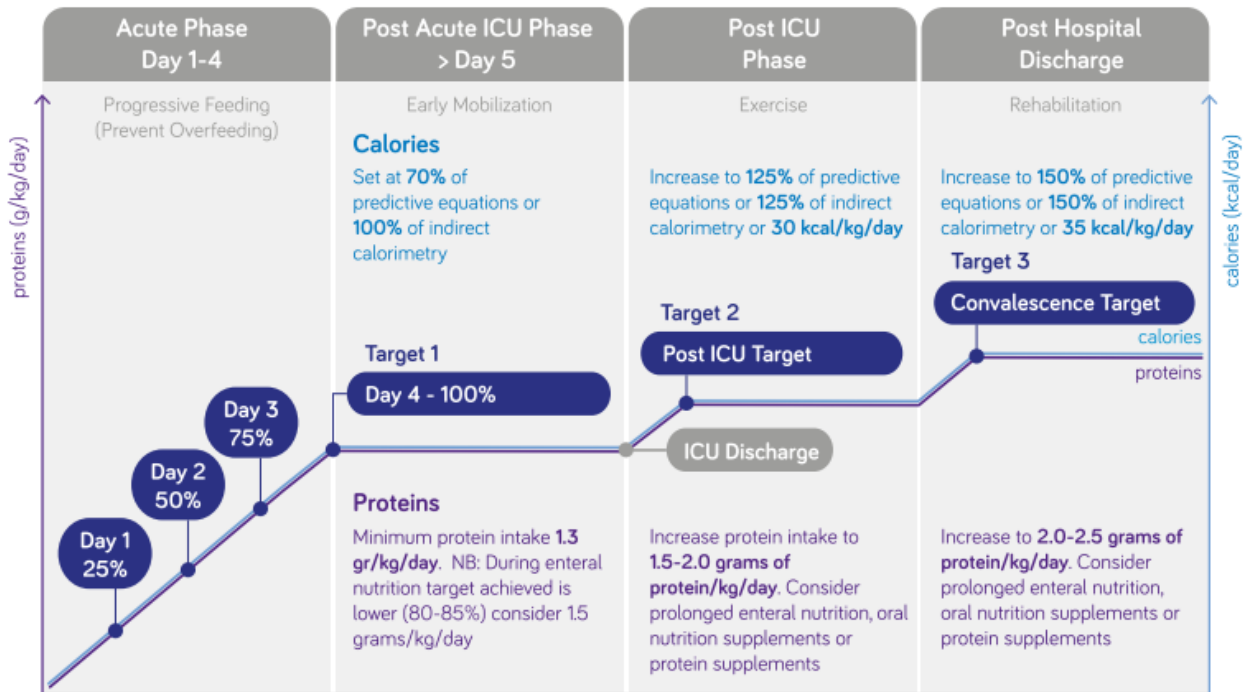
Figura 6: Curva em U entre a percentagem do Gasto Energético de Repouso administrado sob a forma de energia e a mortalidade avaliada aos 60 dias de internamento na Unidade de Cuidados Intensivos (REE- *Resting Energy Expenditure*)<sup>(5, 35)</sup>.

A conservative estimate of energy expenditure (20kcal/kg/day or similar) and routine use of hypocaloric feeding (not exceeding 70% of energy expenditure) should be used to guide energy delivery in the early acute phase of critical illness. IC can be considered in priority patient groups if resources are available, to identify significant hypometabolism and avoid early overfeeding.

IC should be prioritized in select patient groups to identify significant hypometabolism or hypermetabolism including (but not limited to):

- Patients likely to remain mechanically ventilated/require medical nutrition therapy for at least 5 to 7 days.
- Patients where body composition (e.g. obesity), old age or clinical conditions (e.g. major burn injury) make estimation of energy expenditure challenging.

IC should be repeated every 3-4 days if possible (weekly at a minimum), or following significant changes in clinical state of patients.



**Recommendations**

	Adjust caloric intake for non-nutritional calories from: glucose, propofol and citrate	Patients are at-risk for reductions in caloric intake after cessation of enteral nutrition	Patients are at-risk for prolonged reduced caloric intake consider the use of oral nutrition supplements
	When feeding is reduced to prevent overfeeding due to non-nutritional calories, use very-high protein feeds or protein supplements	Patients are at-risk for reductions in protein intake after cessation of enteral nutrition and feeding tube removal	Patients are at-risk for prolonged reduced protein intake consider the use of oral nutrition supplements

**Monitoring**

Monitor Phosphate. Stay at 25% of caloric target for 48h when phosphate drops	Indirect Calorimetry (every 48h) and adjust target accordingly	Monitor oral intake, do not remove feeding tube early	Monitor oral intake and oral nutrition supplement intake
Prevent very early high protein intake	Consider to monitor Nitrogen balance	Consider use of muscle ultrasound, BIA, DEXA or CT for body composition	Consider functional muscle tests and follow-up of body composition

Figura 7: Abordagem e considerações práticas para implementação da Calorimetria Indireta, na Unidade de Cuidados Intensivos (BIA - bioelectrical impedance analysis, CT- computed tomography scanning, DEXA- dual-energy X-ray absorptiometry, IC- Indirect Calorimetry)<sup>(31, 46)</sup>.

