

O trabalho muscular

Fernando Gonçalves Amaral

Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção - UFRGS

Assuntos

- Sistema nervoso
- Músculos
- Sistema circulatório
- Fisiologia do trabalho muscular
- Atividades dinâmicas e estáticas
- Carga de trabalho e capacidade física
- Fadiga e Stress
- Postura de trabalho

Sistema nervoso

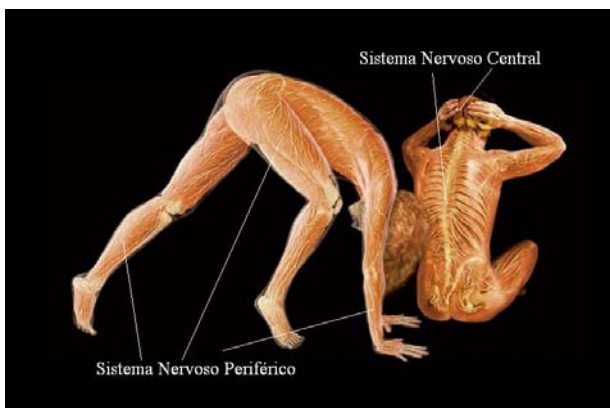
Sistema Nervoso Central (SNC)

- formado por **encéfalo e medula espinhal**.
- as informações chegam ao SNC através do Sistema Nervoso Periférico
- recebe - interpreta - processa as informações recebidas (bilhões de bits por segundo), transformando-as em gestos, movimentos musculares, fala, etc.

Sistema nervoso

Sistema Nervoso Periférico (SNP)

- formado por nervos de condução que ligam o encéfalo e a medula à praticamente todas as partes do corpo
- Divide-se em nervos motores (levam estímulos do SNC aos músculos) e nervos sensoriais (trazem estímulos da pele, músculos e órgãos para o SNC)



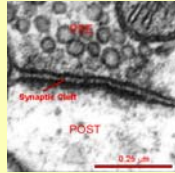
Sistema nervoso

- **Constituído de neurônios**
- **Características funcionais dos neurônios:**
 - sensibilidade aos estímulos,
 - condutibilidade ativa (sinais elétricos)
 - Potencial de ação
- **Formados por:**
 - corpo central (núcleo e dendritos)
 - Axônio (membrana: bainha de mielina)
 - terminações nervosas



Sistema nervoso

- **Sinapses: ligação entre neurônios (transmissão dos sinais)**
 - Fenda sináptica
 - Bomba $\text{Na}^+ \text{K}^+$ / abertura de canais
 - Neurotransmissor
- **Arco reflexo:**
 - Poucos neurônios
 - Estiramento (ex. patelar)
 - Dor (ex. queimadura)



Sistema nervoso

- **Vídeo Sinapse**
- **Vídeo Neurônios**

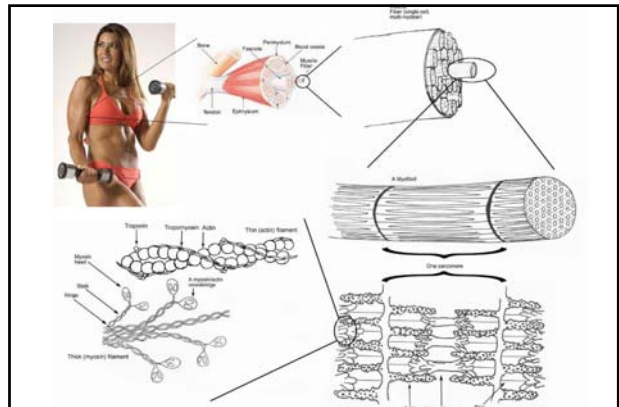
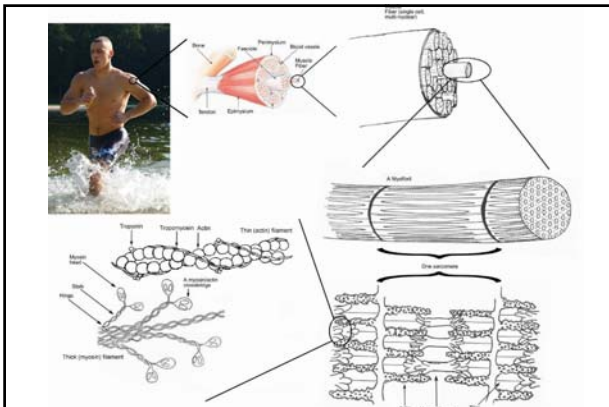
Músculos

- **Dividem-se em 3 grandes categorias:**
 - **estriado (esquelético):** massa muscular, não contrai sem estímulo nervoso, voluntário
 - **cardíaco:** miocárdio, se contrai de forma rítmica, possui células marcapasso, involuntário
 - **liso:** sem estriações, involuntário, irregular, esfínter
- **Características principais:**
 - podem ser excitados como os neurônios
 - Contratilidade (potencial de ação)
 - rica vascularização e inervação



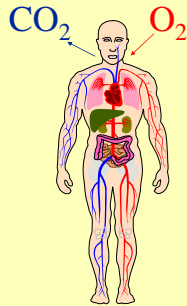
Composição:

- fibras musculares
 - Compostas de células cilíndricas: **miofibrilas**
 - miofibrilas: unidade morfológica (**sarcômero**)
 - sarcômero: **actina:** filamentos finos
miosina: filamentos grossos
 - **Contração muscular (mecanismo de base)**
 - caracterizada pelo deslizamento dos filamentos em presença de ATP (energia)
- Transformação de energia química em energia mecânica**



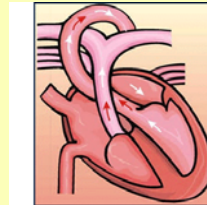
Sistema circulatório

- Sistema de transporte que supre os tecidos (O_2 , nutrição)
- CO_2 para os pulmões
- Produtos metabólicos para os rins
- Atua na regulação da temperatura
- Distribui hormônios e outros agentes reguladores



Sistema circulatório

- Sistema fechado de vasos sanguíneos
- Coração (2 átrios, 2 ventrículos)
- Circulação sistêmica
- Circulação pulmonar
- Circulação linfática
- Regulação múltipla



Sistema circulatório

- Débito cardíaco (DC)
 - $DC = \text{Frequência Cardíaca} \times \text{Débito sistólico (volume de sangue ejetado por uma contração cardíaca)}$
- Diferença Artério-venosa (A-V)
 - (A-V) = diferença do conteúdo de oxigênio entre o sangue arterial, que sai dos pulmões e o sangue venoso, chegando aos pulmões

Sistema circulatório

- Consumo de oxigênio (VO_2)
 - $VO_2 (l \cdot \text{min}^{-1}) = DC \times (A-V)$



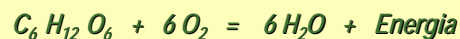
Melhoria (adaptação ao esforço) é função ...
... do treinamento, da idade, do sexo,...

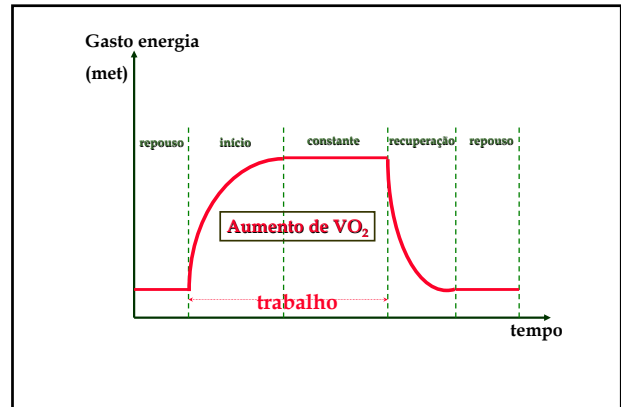
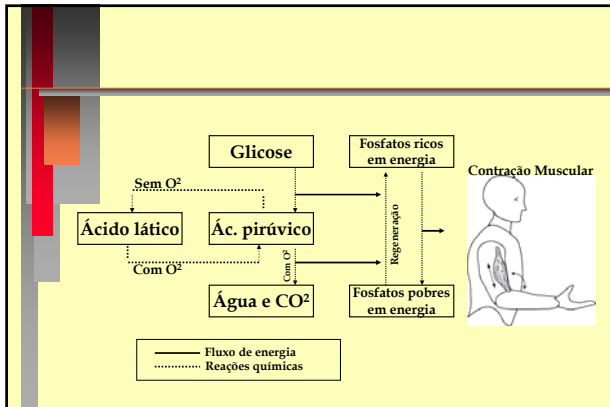
Vídeo sistema circulatório

Fisiologia do trabalho muscular

- Comparado a um motor térmico
 - Combustível: glicose, gordura e proteína
 - a combustão destas substâncias em presença do oxigênio fornece a energia necessária para a contração muscular. Esta energia é transformada em calor e trabalho mecânico
- Fontes de energia utilizadas pelo músculo
 - reservas intramusculares
 - reservas em outros tecidos

- Em condições "estáveis", a oxidação de uma molécula de glicose (ou açúcar) corresponde à equação seguinte:





- ### Atividades dinâmicas e estáticas
- Contração muscular dinâmica (CMD)**
 Exemplo: flexão cotovelo, caminhada,...
 - caracterizada pela alternância entre a tensão e relaxamento dos músculos
 - contração e extensão (bomba muscular)
 - Se força e freqüência moderadas
 - circulação sem dificuldades (metabolismo aeróbico)

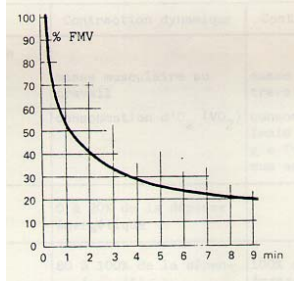
- Trabalho fornecido pelo músculo:**

$$W = F \times d$$
- Baixo rendimento mecânico**
 - relação entre o trabalho fornecido (W) e a energia consumida pelo músculo não ultrapassa 20% (condições favoráveis - bicicleta ergométrica)
 - na indústria: rendimento < 10%, o resto é transformado em calor (devendo ser evacuado)

- Contração muscular estática (CME)**
 - músculo sob tensão prolongada sem variação do seu comprimento (contração isométrica)
 Exemplo: manter um peso na mão com braço esticado,...
 - caracterizada pelo $W \sim 0$ (quase toda energia é transformada em calor)
 - Força Máxima Voluntária (FMV)**
 - Força máxima exercida por um músculo em uma contração isométrica mantida por 4 a 5 segundos

- A contração estática representa um custo fisiológico importante pois dificulta a eliminação de dejetos metabólicos (acumulação de ácido láctico)**
 - Efeitos:**
 - Fadiga muscular localizada (função da intensidade do esforço)
 - Aumento da freqüência cardíaca
 - Elevação da pressão arterial
 - Exceção: musculatura postural (fibras vermelhas)**

Duração máxima da contração muscular estática em função da força exercida



Atividades dinâmicas e estáticas

Atividade dinâmica

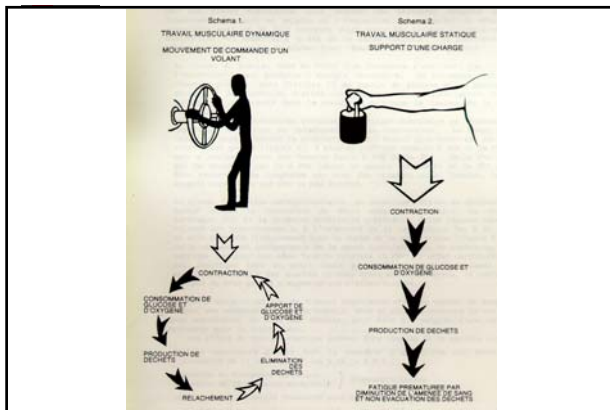


Sangue necessário Sangue suprido

Atividade estática



Sangue necessário Sangue suprido



	CONTRAÇÃO DINÂMICA	CONTRAÇÃO ESTÁTICA
Gasto Energético		
função da:	massa muscular ao trabalho	massa muscular ao trabalho
medido pelo:	consumo de O ₂ (VO ₂)	consumo de O ₂ (VO ₂) (mais fração de energia fornecida por processos anaeróbicos)
Trabalho mecânico produzido =	0 a 20% do gasto energético	nulo
Calor Desprendido =	80 a 100% do gasto energético	100% do gasto energético
Aumento da F.C. e da P. Arterial		
função da:	% VO ₂ máx requisitado pelo esforço	% da F.M.V. do músculo ao trabalho
Temperatura interna		
função da:	% VO ₂ máx requisitado pelo esforço	inexistência de relação específica

Carga de trabalho e capacidade física

■ Contrainste (stress)

Representa a soma de todas as influências possíveis das condições perturbadoras do trabalho sobre o homem, tanto sobre seu sistema sensorial como sobre seu sistema motor.

- Controle do trabalho
- Suporte social
- Demandas da tarefa e exigência de desempenho
- Segurança no trabalho
- Fatores ambientais

■ Astreinte (strain)

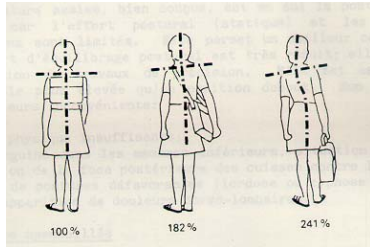
Designa os efeitos sobre o homem dos fatores de "contraintes"

- Reações psicológicas
- Problemas de saúde
- Problemas sociais

O nível de *astreinte* depende ao mesmo tempo:

- de diferentes componentes da "contrainte"
- das capacidades individuais ao trabalho.

Efeito da CME no consumo de O₂



- VO₂: capacidade de transporte e utilização de oxigênio pelo organismo
- (l/m) ou (ml/kg/min)
- A capacidade física máxima de um indivíduo é avaliada a partir do VO₂ máximo, que ele pode consumir ao longo de um esforço
- Video VO₂

- Se submetidos a esforços de mesma intensidade, os membros de uma equipe de trabalho não apresentarão uma resposta idêntica uns em relação aos outros.
- Pode existir uma grande dispersão interindividual nos níveis de frequência cardíaca, de temperatura corporal ou ainda no conceito de tolerância subjetiva ao esforço.

Exemplo

- 2 trabalhadores, submetidos a uma mesma "contrainte", devem transportar uma carga de 25 kg, ou seja um trabalho que exige uma VO₂ = 1,2 l.min⁻¹.

- Um dos trabalhadores é mais forte, e ao executar a tarefa apresenta:
 - VO₂ = 1,2 l.min⁻¹ ; VO₂ max= 3,6 l.min⁻¹
 - FC = 105 bpm; Temperatura interna = 37,5 °C.
- O outro é mais fraco e apresenta:
 - VO₂ = 1,2 l.min⁻¹ ; VO₂ max= 2,4 l.min⁻¹
 - FC = 130 bpm; Temperatura interna = 38° C.

- Nota-se que:
 - o primeiro utiliza somente 1/3 de sua capacidade física.
 - o segundo utiliza 1/2 de sua capacidade física e sua pulsação e sua temperatura são mais elevadas.
- Logo conclui-se que:
 - o segundo homem para o mesmo trabalho sentirá mais rapidamente que o primeiro a sensação de fadiga.

- **Logo:**
 - determinar a carga de trabalho em valor absoluto tem um valor limitado.
 - a carga de trabalho suportada por um trabalhador é por definição uma **carga relativa**, correspondendo à relação dos gastos energéticos do trabalho com o VO_2 máximo do indivíduo.
 - da mesma forma, que para os esforços musculares estáticos, a carga é função da relação entre a força a ser desenvolvida pelo músculo durante o trabalho e a FMV, que este músculo pode desenvolver.

Fatores de variação da capacidade física

- **genético:** o VO_2 máximo é função da massa muscular disponível.
 - Aumenta com a:
 - altura
 - massa magra do indivíduo
(peso total corporal - peso dos tecidos gordurosos)

- **sexo:** a mulher tem uma menor capacidade de transporte de oxigênio, logo um VO_2 máximo mais baixa que a do homem;
- **idade:** a capacidade física diminui com a idade;

- **treinamento:** único meio de aumentar a capacidade física, a qual o indivíduo foi dotado pela genética
 - Exige a perseverança: 3 sessões de treinamento esportivo por semana, durante as quais o esforço deve ser levado a uma FC = 150 bpm, no mínimo.
 - Isto vai aumentar a capacidade física de 25 a 30% em 3 meses de treinamento.
 - Toda a diminuição na frequência ou intensidade do treinamento físico provoca um retorno parcial ou completo até o nível de capacidade física de inicial.



Fadiga

Gardons le moral.....



C'est toujours pas vendredi! ... mais ça arrive bientôt !!!

Fadiga

- Sensação de cansaço, desinteresse, perda de eficiência
- Consequência normal de exercícios intensos ou de esforços mentais
- Distingue-se:
 - **Fadiga mental**
 - **Fadiga física:**
 - fadiga muscular: dor/desconforto local
 - fadiga geral: desconforto/indolência difusa



Fadiga muscular

- Uma demanda muscular muito intensa
- Redução da força
- Redução da velocidade de movimento
- Aumento de erros e acidentes
- Tempo de recuperação do músculo
- Reservas de energia reduzidas, resíduos se multiplicam
- Tecido se torna ácido (ác. Láctico e CO_2)



Fadiga geral

- Sensação generalizada de cansaço
- Falta motivação, sensação de peso
- Agradável quando se pode relaxar
- Mecanismo de proteção
- Acidose durante o exercício (trabalho)
- Produz a fadiga no corpo
- No cérebro contribui para a sensação de cansaço
- Percepção subjetiva do esforço se relaciona com o VO_2



Formas de fadiga

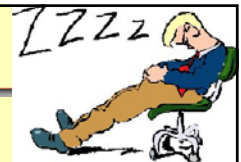
- Geral: sobrecarga física de todo o organismo
- Visual: sobrecarga do sistema visual, por esforço, por tempo ou por fatores ambientais
- Mental: induzida por grandes esforços ou períodos de concentração
- Nervosa: sobrecarga no sistema psicomotor (trabalho de precisão)
- Crônica: acúmulo de efeitos à longo prazo
- Circadiana: gerada pelo ritmo biológico, conduz ao sono



Estados funcionais:

- Sono profundo
- sono leve, sonolência
- cansaço, pouca atenção
- repouso-relaxamento, descansado
- Renovado, atento
- muito alerta, estimulado
- Em estado de alarme


Neste contexto pode variar de um extremo ao outro !!!





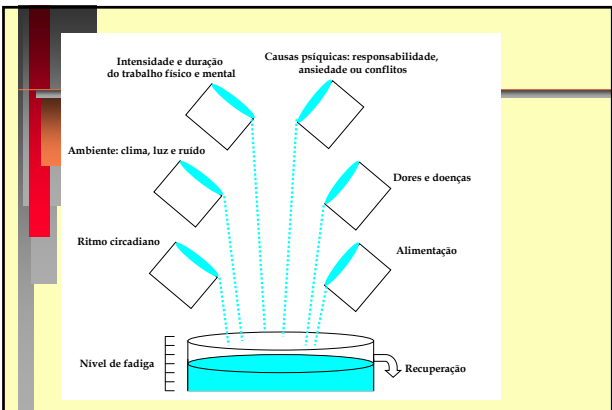
Fadiga mental

- sensação difusa de cansaço que se acompanha de uma vontade de "não fazer nada"
- Relacionamento entre fatores profissionais com as características do indivíduo
- pode ter um caráter agradável quando ela coincide com os períodos de repouso e de relaxamento.
- Overtraining comportamental
- Atinge 70% dos analistas de sistema
- Tarefas que exigem concentração



Medir a fadiga

- Medir a fadiga não é possível
Mede-se apenas "indicadores"
- Possui várias formas de expressão e causas múltiplas, dificultando o entendimento das interações:
 - duração e intensidade do trabalho físico e/ou mental;
 - duração e espaçamento das pausas;
 - fatores físicos de ambiente: ruído, calor ...;
 - ritmos circadianos;
 - motivação de um indivíduo, função do interesse e do conteúdo do trabalho, do tipo de tarefa (de responsabilidade ou de simples execução);
 - estado nutricional, ...



Métodos

- Qualidade e quantidade de trabalho
- Registro das percepções subjetivas de fadiga
- Eletroencefalografia (EEG)
- Medição da frequência de fusão dos pulsos de luz (olhos)
- Testes psicomotores
- Testes mentais

Métodos objetivos

- Para a fadiga física:
 - medir a frequência cardíaca
 - medir a EMG (eletromiografia)
- Para a fadiga mental:
 - eletroencefalografia (EEG): modificações do traçado de acordo com o nível de atenção;
 - medir a frequência crítica de fusão visual:
 - diminui ao longo de um trabalho de carga mental elevada (exemplo: controladores de tráfego aéreo) ou trabalho repetitivo e muito monótono
 - indicadores de produção tanto qualitativos quanto quantitativos (retrabalho, refugo)

- testes psicomotores

- teste de "dupla tarefa": trata-se de fazer variar experimentalmente uma dada sobrecarga e de observar como a execução da tarefa se deteriora. O princípio do método é de associar à tarefa principal, efetuada em prioridade, uma segunda tarefa simples permitindo a avaliação de maneira indireta, por unidade de tempo, da fração de capacidade mental que é empregada para a tarefa principal.

Métodos subjetivos

■ Questionário bipolar

- Coloca-se face a face dois adjetivos opostos nas duas extremidades de uma linha de 7 cm,
- O sujeito interrogado é convidado a qualificar seu estado, naquele dado momento, marcando um traço sobre a linha,
- Esta auto-avaliação é executada no início e no fim do trabalho,
- A acentuação ou a aparição da sensação de fadiga é então quantificada pela medida da distância separando os dois traços.

Você se sente atualmente ... ?

completamente descansado _____	bastante cansado _____
alerta _____	relaxado _____
sonolento _____	bem acordado _____
em pleno vigor _____	esgotado _____
fraco _____	forte _____
cheio de energia _____	apático _____
abatido, indiferente _____	pronto para agir _____
interessado _____	desinteressado _____
atento _____	espírito ausente _____

Prevenir a fadiga

- preservar a possibilidade de uma "auto-regulação" pelo trabalhador de sua carga de trabalho.
Remuneração por rendimento: desfavorável
- Exercícios físicos regulares



■ Evidenciar os esforços de ponta, sendo mais críticos para a saúde do trabalhador que o nível médio de gasto energético durante 8 horas de trabalho;

Carga relativa de trabalho: 30 a 40% VO₂ máx.

Dois maneiras (avaliar):

- bicicleta ergométrica
- observação no posto

Consumo máximo de oxigênio população belga e nível médio de gasto energético para trabalho de longa duração

IDADE anos	VO ₂ max. (l.min ⁻¹)		Gasto energético limite (33% VO ₂ max.)	
	Homens	Mulheres	Homens	Mulheres
20 - 30	3,24 ± 0,47	2,04 ± 0,3	369 ± 54	232 ± 34
31 - 40	3,06 ± 0,40	1,77 ± 0,35	348 ± 46	201 ± 40
41 - 50	2,85 ± 0,37	1,74 ± 0,25	324 ± 42	198 ± 29
51 - 60	2,74 ± 0,42	1,60 ± 0,28	311 ± 48	182 ± 32

- **Identificar as situações, em uma equipe de trabalho, em que o mais fraco tem grandes dificuldades de seguir a cadência imprimida pelos mais fortes;**
- **Identificar e agir sobre os fatores associados que agravam a "astreinte" ligada ao trabalho dinâmico:**
calor, vibrações, "constraintes" estáticas e posturais

- ## *Estresse*
- Selye, 1930: reação do organismo a uma situação opressiva
 - Extressor: causa externa; estresse: reação do corpo
 - Na engenharia, stress: causa, strain: resultado
 - Diferença entre as demandas impostas pelo trabalho e as capacidades do indivíduo (fenômeno subjetivo)
 - Reações psicológicas: resultado de uma cadeia de mecanismos neuroendócrinos (adrenalina e noradrenalina)
 - Dosis sola facit venenum. (Paracelsus, sec. XVI)
 - Video estresse

- ## *Estresse*
- **Estudos com animais (1956): alterações em órgãos, células imunes, atrofia do timo e outras estruturas linfáticas após estresse**
 - **Estresse: ação crônica da ansiedade (apreensão, incerteza)**
 - **Estresse ocupacional: ajuste entre pessoa e ambiente de trabalho**
 - **Controle do trabalho, suporte, sofrimento, demandas, segurança, responsabilidade, ambiente físico, complexidade**
 - **Psicológicos (medo, ansiedade), físico (cicatrização de feridas, infecções) e fisiológicos (privação de comida, sono)**

Table 2. Job schedule type and job stress

		Job schedule type				p	Total	
		Day		Shift			N	%
		N	%	N	%			
Job demand	Low	2,253	(73.2%)	1,422	(75.5%)	0.077	3,675	(74.1%)
	High	825	(26.8%)	462	(24.5%)		1,287	(25.9%)
Job control	High	2,350	(76.3%)	1,006	(53.4%)	<0.001	3,356	(67.6%)
	Low	728	(23.7%)	878	(46.6%)		1,606	(32.4%)
Interpersonal relationship	High	2,550	(82.8%)	1,605	(85.2%)	0.032	4,155	(83.7%)
	Low	528	(17.2%)	279	(14.8%)		807	(16.3%)
Compatibility	High	2,275	(73.9%)	1,288	(68.4%)	<0.001	3,563	(71.8%)
	Low	803	(26.1%)	596	(31.6%)		1,399	(28.2%)
The number of stressor items in unfavorable condition	0	1,250	(40.6%)	543	(28.8%)	<0.001	1,793	(36.1%)
	a1	1,828	(59.4%)	1,341	(71.2%)		3,169	(63.9%)
The number of stressor items in unfavorable condition	0-1	2,296	(74.6%)	1,228	(65.2%)	<0.001	3,524	(71.0%)
	a2	782	(25.4%)	656	(34.8%)		1,438	(29.0%)
The number of stressor items in unfavorable condition	0-2	2,852	(92.7%)	1,700	(90.2%)	0.003	4,552	(91.7%)
	a3	226	(7.3%)	184	(9.8%)		410	(8.3%)
Total		3,078		1,884			4,962	

- ## *Medição do estresse*
- Não há medida direta
 - Focada no estado psicológico do indivíduo
 - Experiências emocionais individuais em relação à situação no trabalho
 - Questionários sobre condições de trabalho, estressores potenciais, a saúde e bem-estar dos trabalhadores, satisfação no trabalho e estados de humor
 - Ex: Questionário de saúde geral de Goldberg