PARTE 7

MOTORES DE CORRENTE CONTÍNUA DE COMUTAÇÃO ELETRÔNICA – "BRUSHLESS DC"

PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS MOTORES BRUSHLESS

UTILIZAÇÃO CRESCENTE E INTENSIVA EM DIVERSOS TIPOS DE ACIONAMENTOS

MÁQUINAS DE MÉDIO E GRANDE PORTE (100 kW < Pnom < 10MW)

UTILIZADO COMO MOTOR SÍNCRONO EM PROPULSÃO NAVAL E FERROVIÁRIA

→ *ELEVADO DESEMPENHO - MASSA E VOLUME REDUZIDOS*

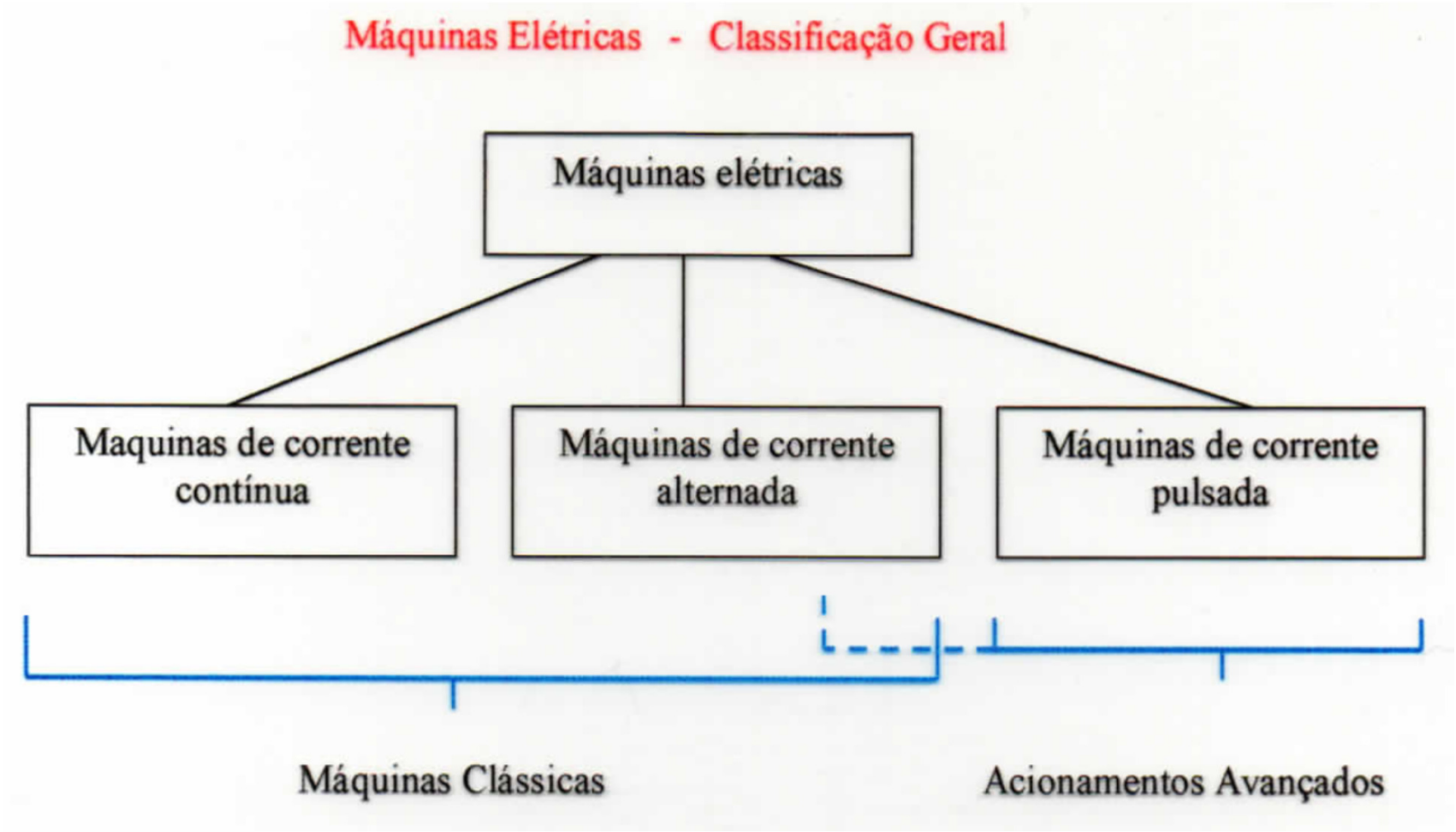
MÁQUINAS DE PEQUENO PORTE (Pnom < 10kW)

USO GERAL EM PEQUENOS ACIONAMENTOS – CONTROLE – ELETRODOMÉSTICOS – AUTOMOTIVO

→ *REDUÇÃO DE CUSTO – CONFIABILIDADE*

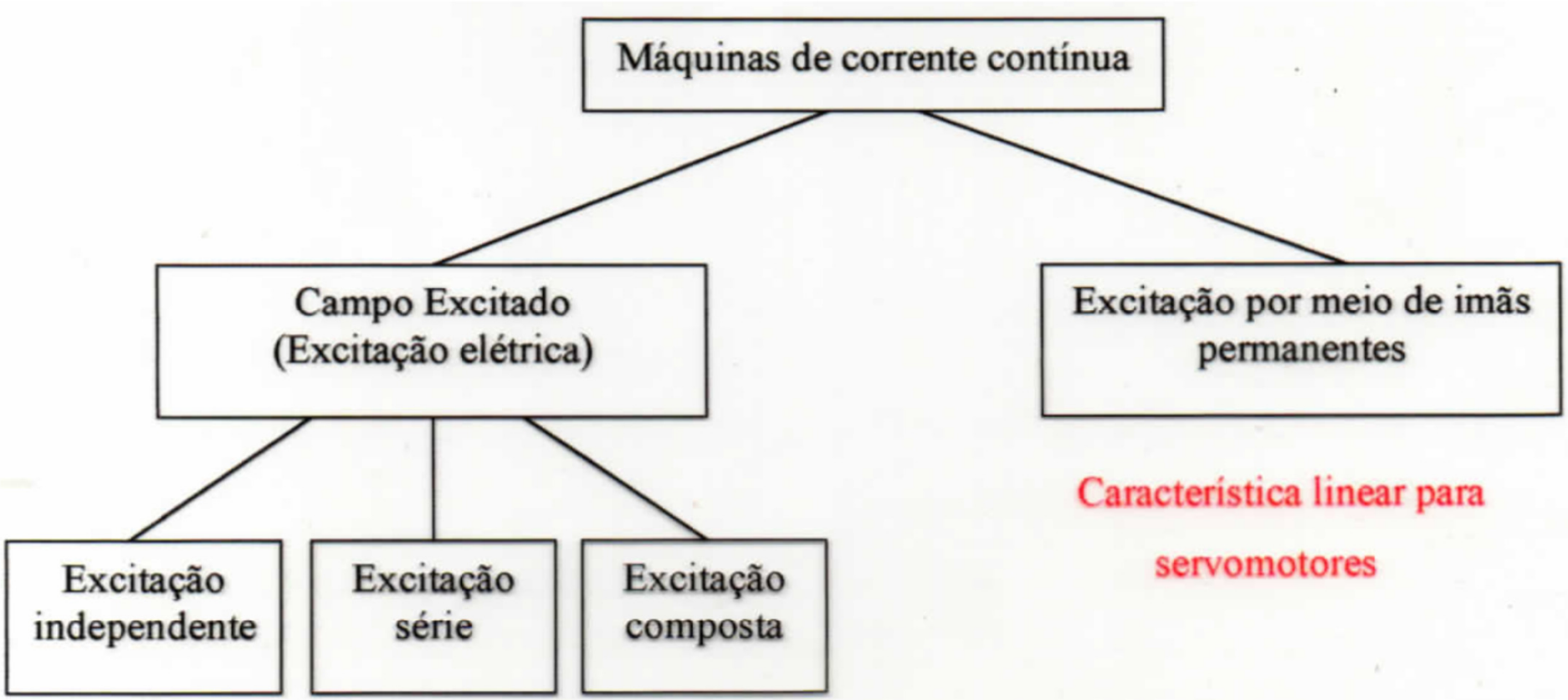
PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

PREÂMBULO GERAL SOBRE MÁQUINAS ELÉTRICAS PARA A COMPOSIÇÃO DOS ACIONAMENTOS



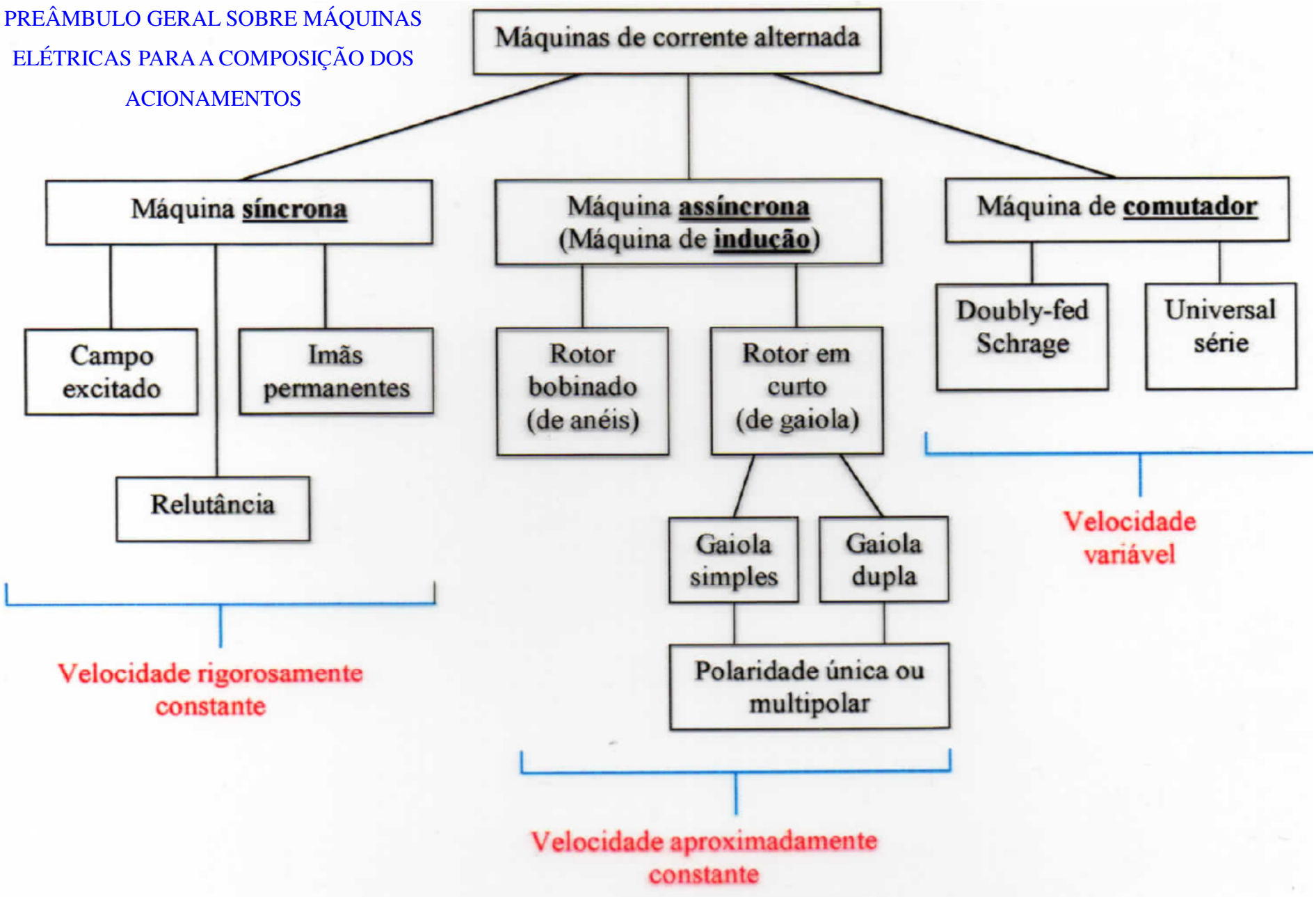
PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

PREÂMBULO GERAL SOBRE MÁQUINAS ELÉTRICAS PARA A COMPOSIÇÃO DOS ACIONAMENTOS



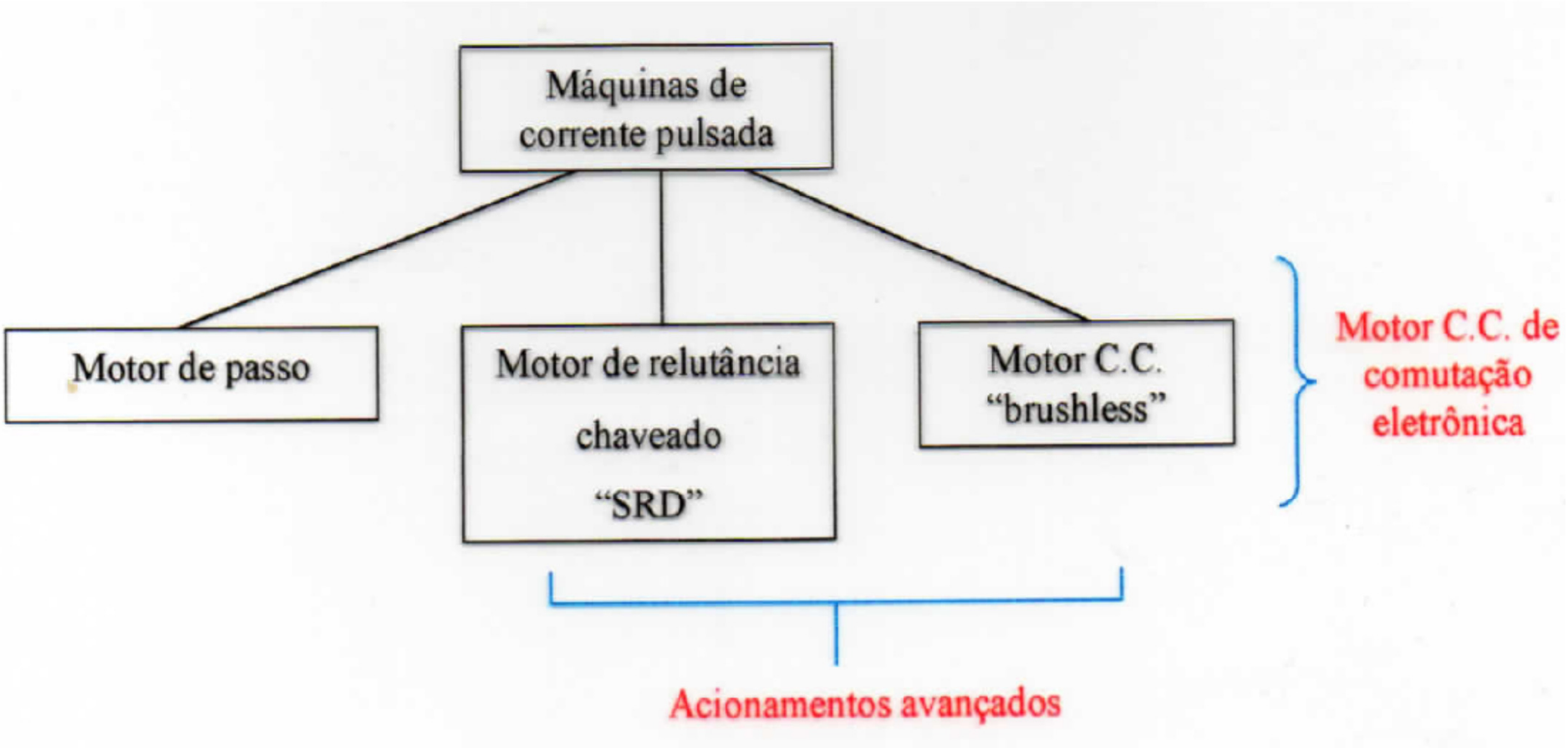
PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

PREÂMBULO GERAL SOBRE MÁQUINAS ELÉTRICAS PARA A COMPOSIÇÃO DOS ACIONAMENTOS



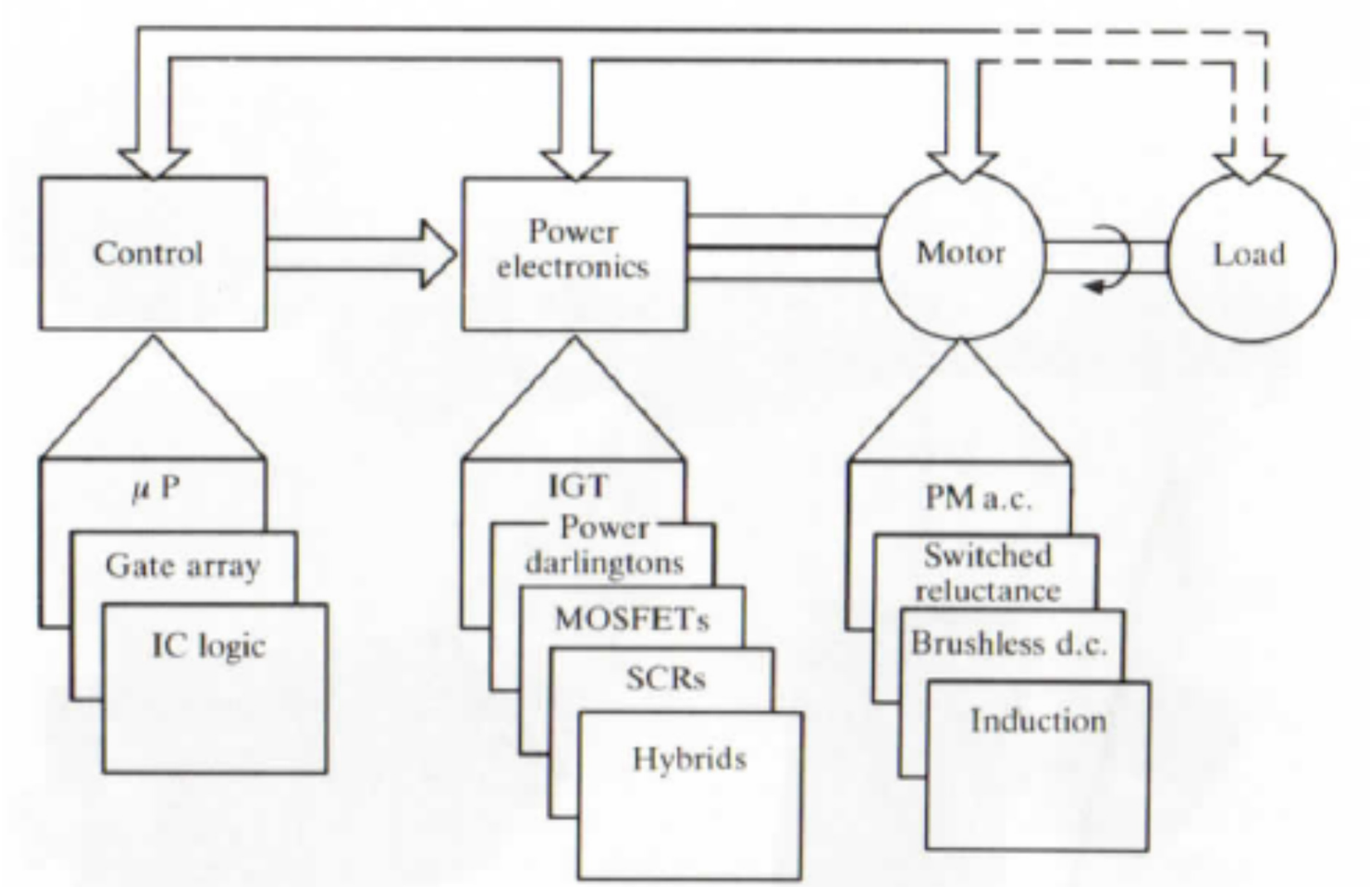
PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

PREÂMBULO GERAL SOBRE MÁQUINAS ELÉTRICAS PARA A COMPOSIÇÃO DOS ACIONAMENTOS



PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

CARACTERIZAÇÃO GENÉRICA DOS ACIONAMENTOS "AVANÇADOS"



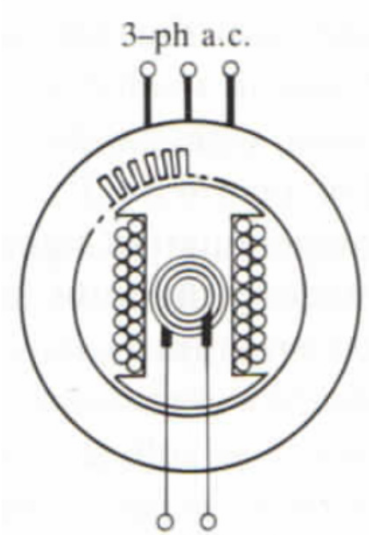
VARIANTES DO CONTROLADOR

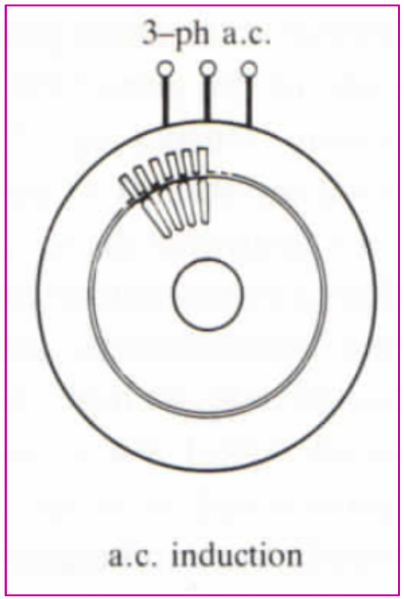
VARIANTES DAS CHAVES DE POTÊNCIA

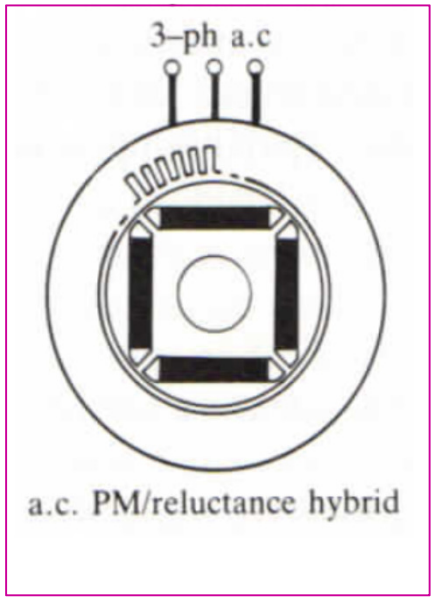
VARIANTES DO TIPO DE MOTOR

PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

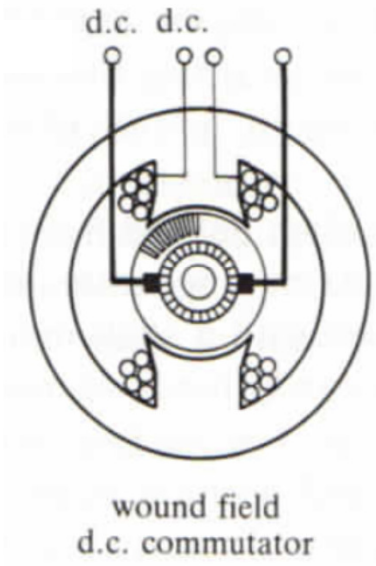
VARIANTES DOS TIPOS DE MOTOR APLICADOS NOS ACIONAMENTOS

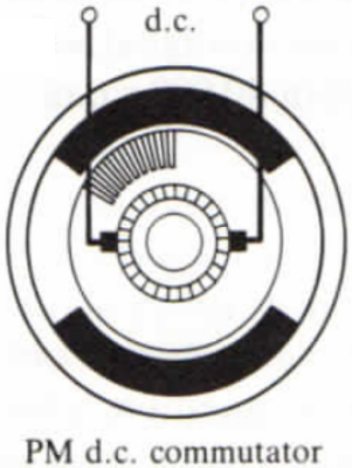


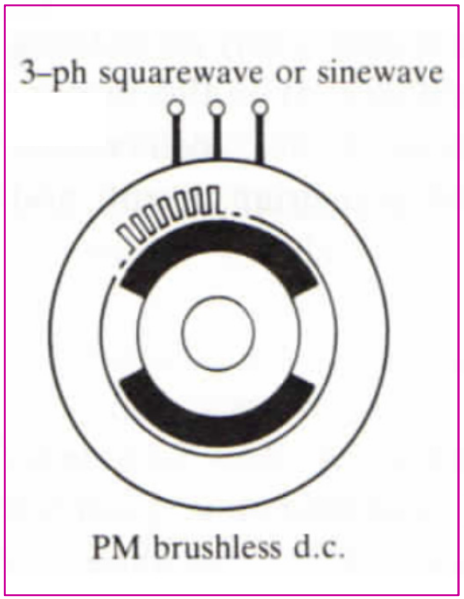


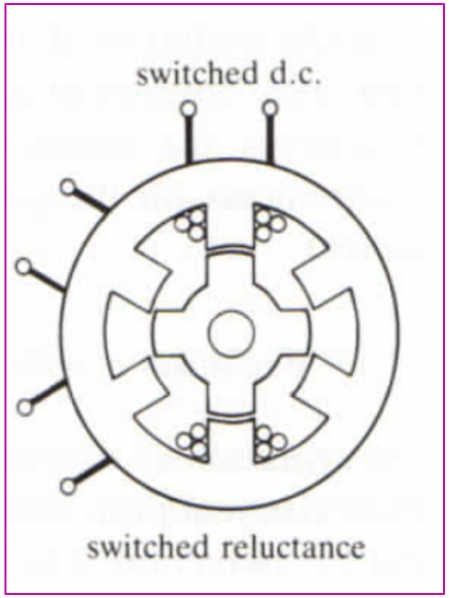


MOTORES COMUMENTE EMPREGADOS PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS ACIONAMENTOS "AVANÇADOS"





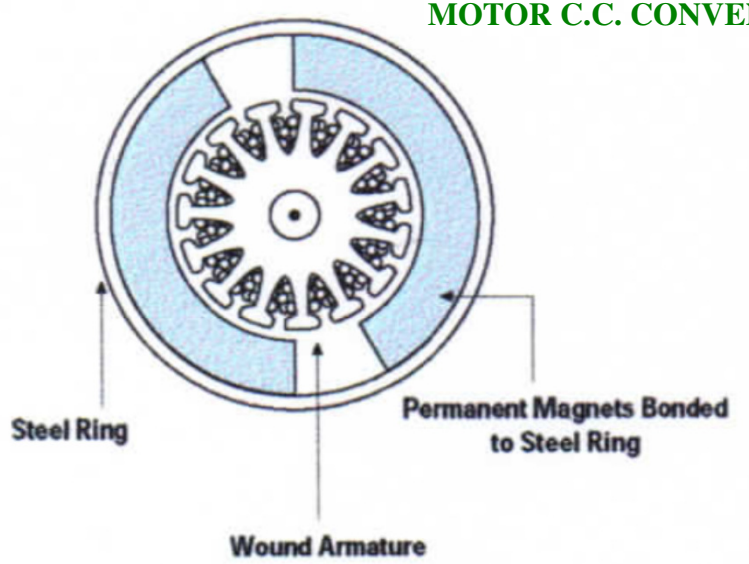


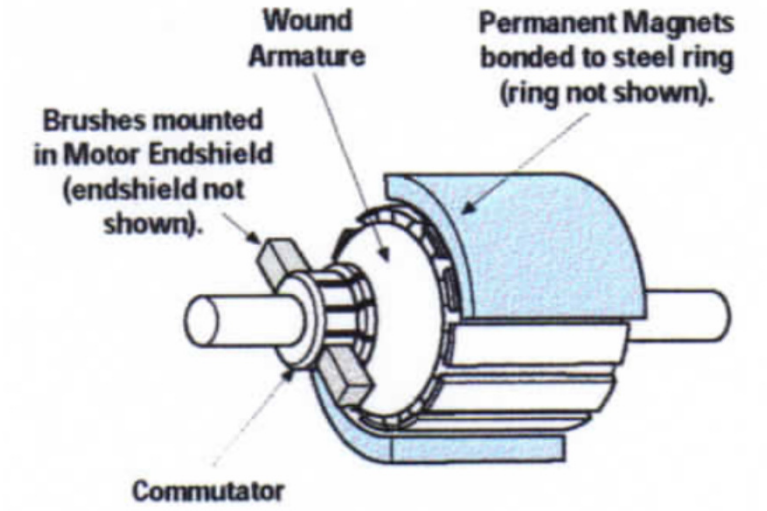


PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

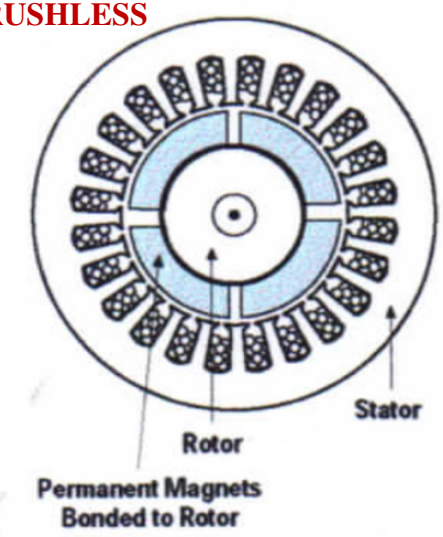
ASPECTOS CONSTRUTIVOS COMPARATIVOS ENTRE O MOTOR C.C. CONVENCIONAL E O MOTOR C.C.BRUSHLESS

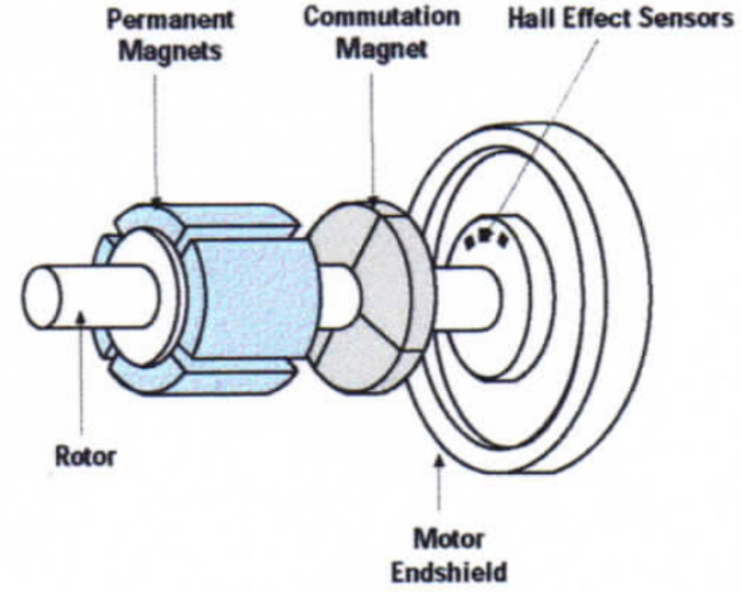
MOTOR C.C. CONVENCIONAL





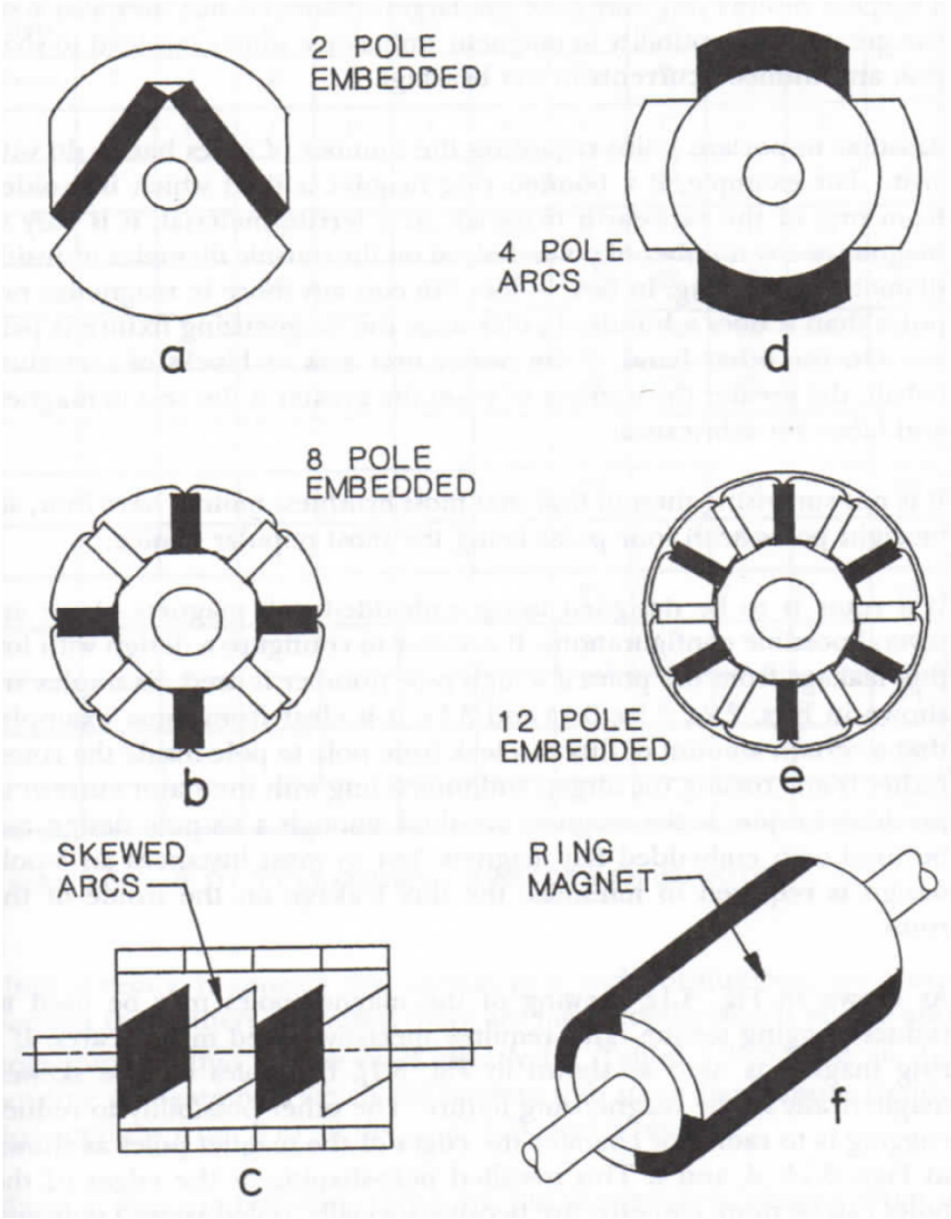
MOTOR C.C. BRUSHLESS





PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

ALGUMAS TOPOLOGIAS MAGNÉTICAS PARA O ROTOR DE MOTORES C.C. BRUSHLESS



a) b) e) : IMÃS PERMANENTES INTERIORES

→ FIXAÇÃO PELO ALOJAMENTO MECÂNICO

d) : IMÃS PERMANTES SUPERFICIAIS

→ FIXAÇÃO POR MEIO DE COLAGEM

c) : IMÃS PERMANTES SUPERFICIAIS INCLINADOS

→ FIXAÇAO POR MEIO DE COLAGEM

f) : IMÃ PERMANENTE EM FORMA DE ANEL CONTÍNUO MAGNETIZADO COM O NÚMERO DE POLOS ADEQUADO

PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

EXEMPLOS CONSTRUTIVOS DE MOTORES C.C. BRUSHLESS



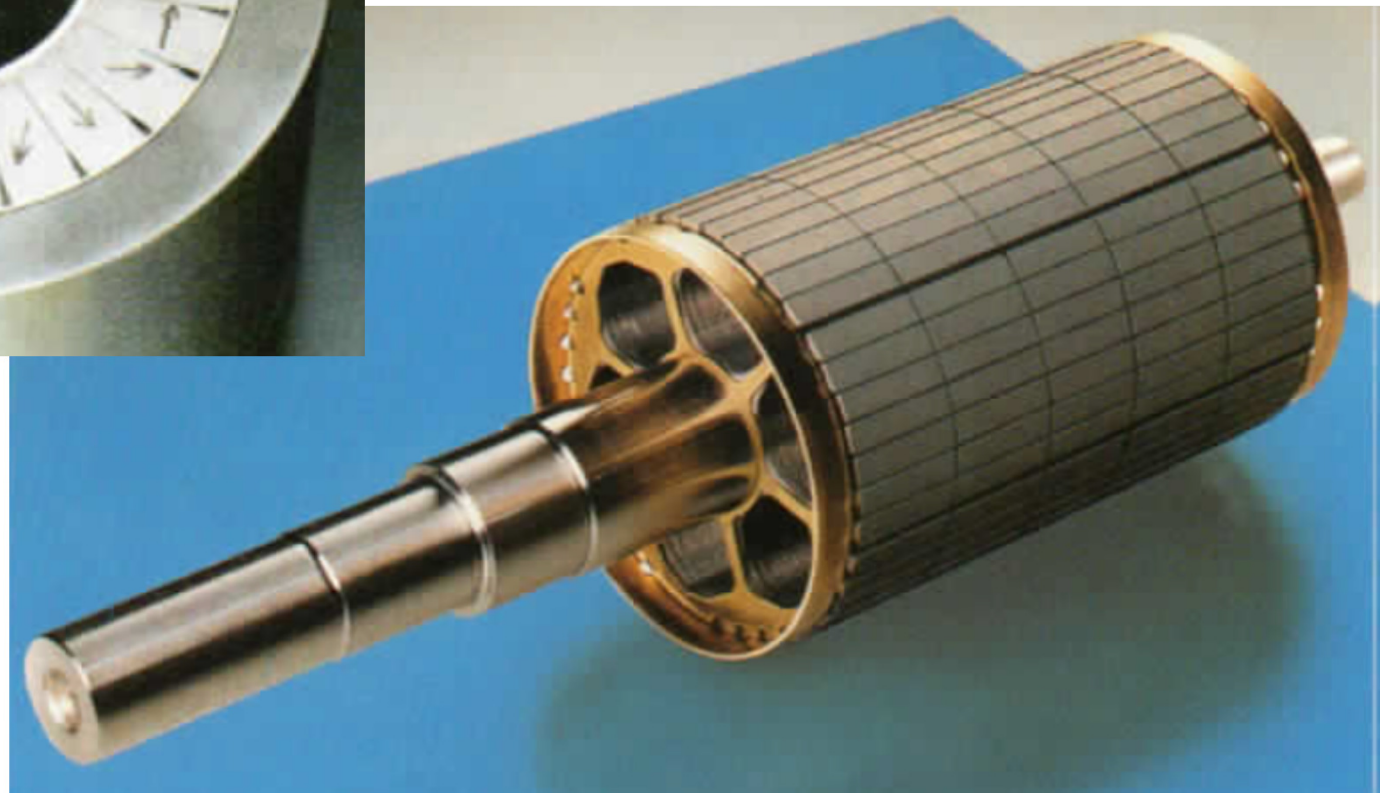
ROTOR EXTERNO COM ÍMÃS COLADOS

➔ *CONFIGURAÇÃO "HALBACH"*

➔ *MAGNETIZAÇÃO COM ORIENTAÇÃO ESPACIAL VARIÁVEL*

ROTOR INTERNO COM ÍMÃS SUPERFICIAIS COLADOS

➔ *EM APLICAÇÕES MAIS CRÍTICAS, OS ÍMÃS RECEBEM UMA CINTA DE FIBRA DE VIDRO OU FIBRA DE CARBONO SOBRE OS MESMOS PARA AUMENTO DA RETENÇÃO MECÂNICA*

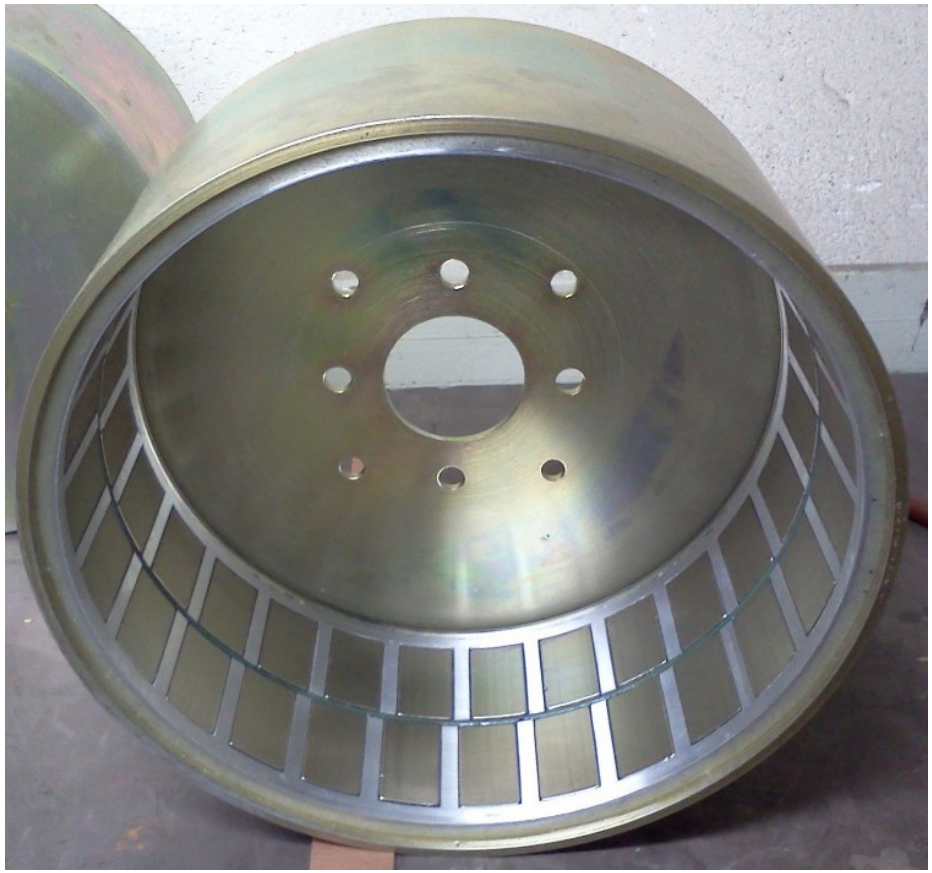


PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES “BRUSHLESS”

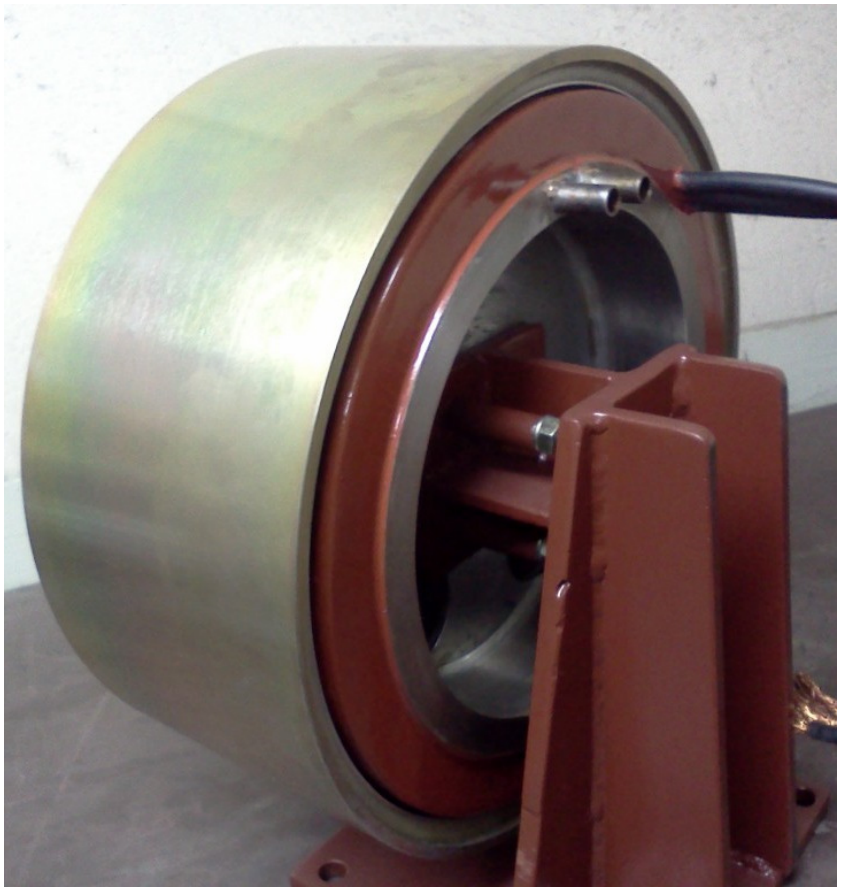
EXEMPLOS CONSTRUTIVOS DE MOTORES C.C. BRUSHLESS

ROTOR EXTERNO COM ÍMÃS SUPERFICIAIS COLADOS

➔ *O DESLOCAMENTO AXIAL PERMITE A MINIMIZAÇÃO DE TORQUES PARASITAS “COGGING TORQUE”*



MOTOR BRUSHLESS DE ROTOR EXTERNO E ESTATOR RESFRIADO A ÁGUA – USO VEICULAR

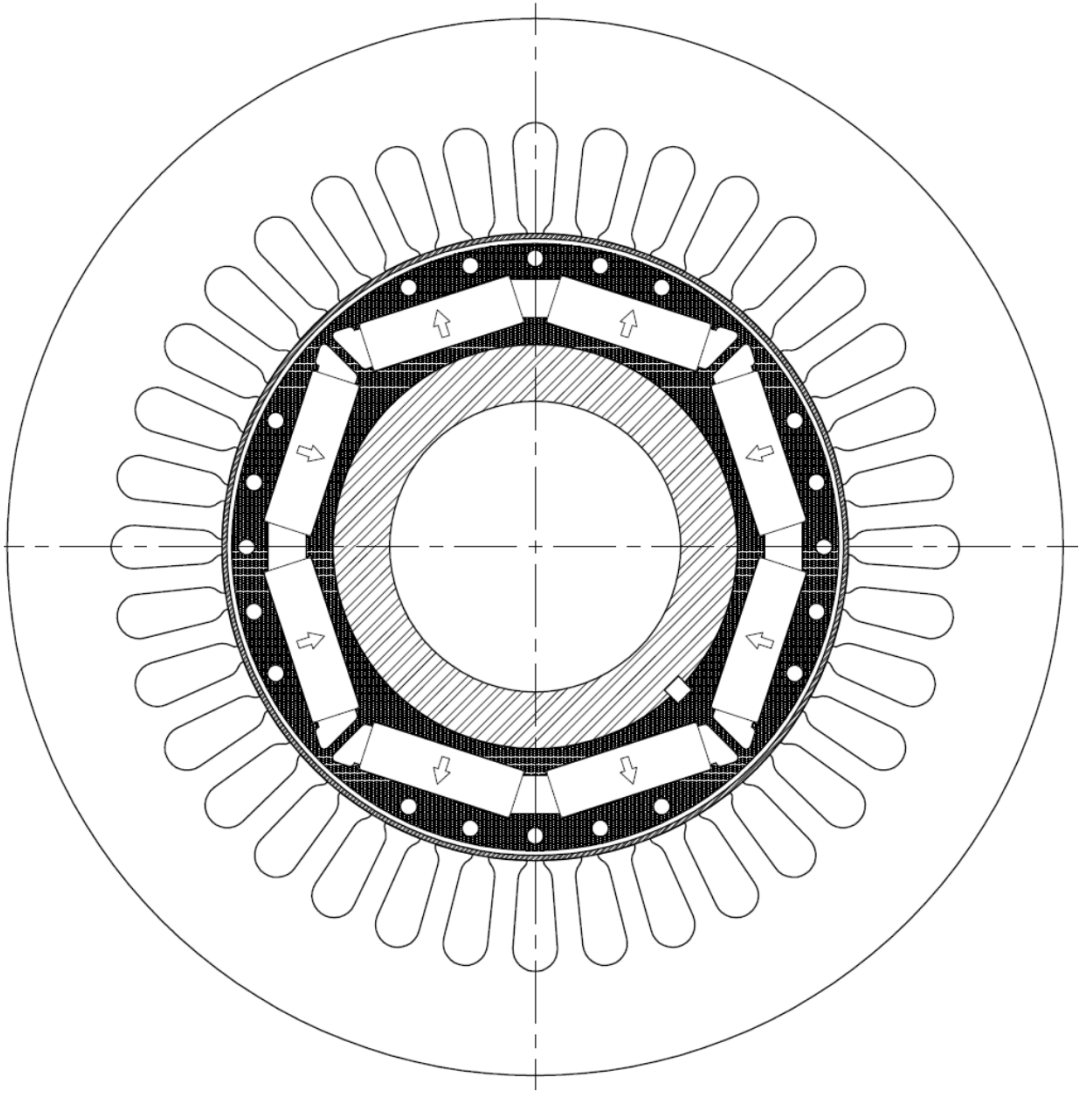


PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES “BRUSHLESS”

EXEMPLOS CONSTRUTIVOS DE MOTORES C.C. BRUSHLESS

ROTOR COM ÍMÃS INTERIORES INSERIDOS EM CANALETAS

➔ *CONFIGURAÇÃO DOTADA DE PONTES MAGNÉTICAS SATURÁVEIS*



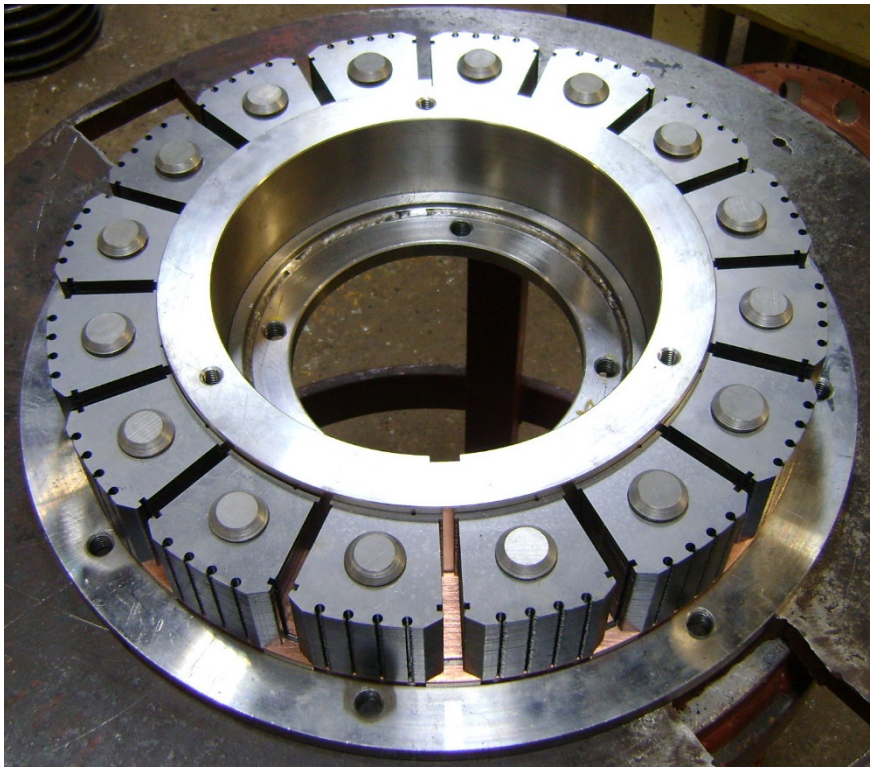


PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

EXEMPLOS CONSTRUTIVOS DE MOTORES C.C. BRUSHLESS

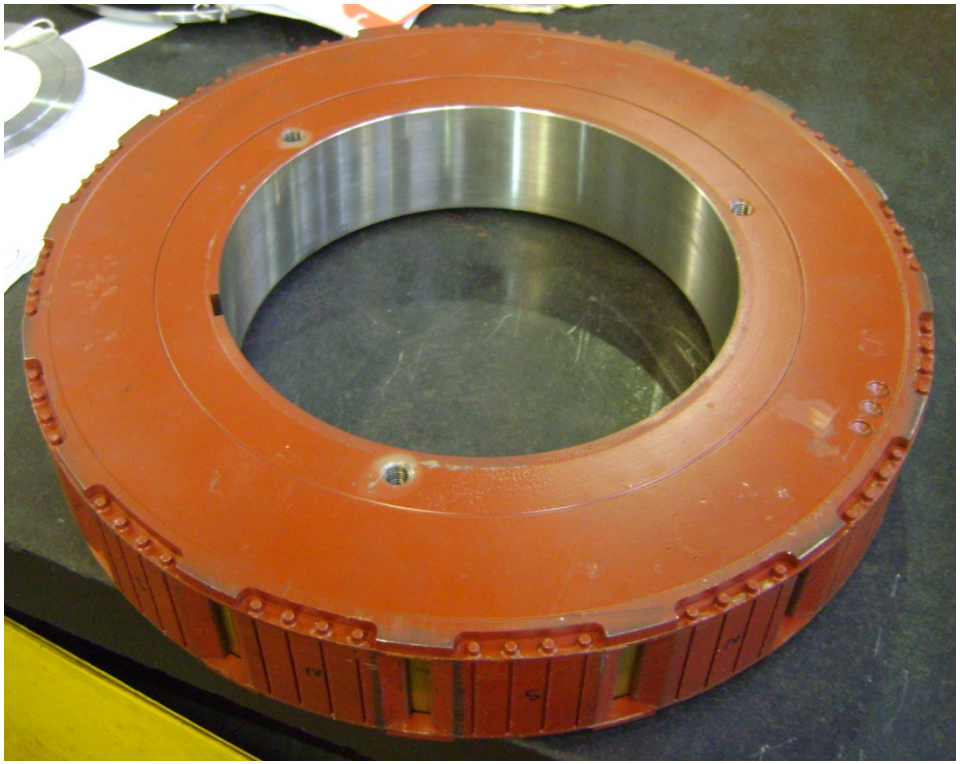
ROTOR COM ÍMÃS INTERNO ALOJADOS EM CANALETAS

➔ *CONFIGURAÇÃO COM CUBO E LATERAIS DE MATERIAL AMAGNÉTICO E PINOS DE RETENÇÃO*



ROTOR ACABADO COM ÍMÃS INSERIDOS E TRAVADOS

➔ *ROTOR DOTADO DE GAIOLA DE AMORTECIMENTO*

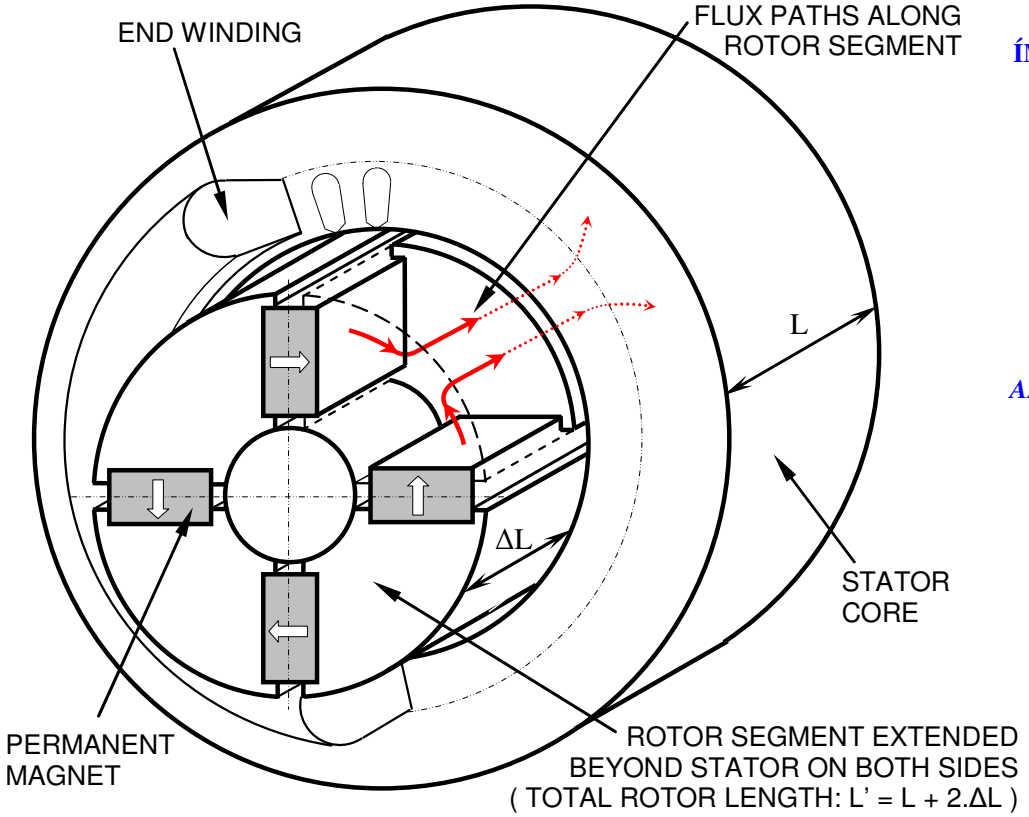


PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

EXEMPLOS CONSTRUTIVOS DE MOTORES C.C. BRUSHLESS

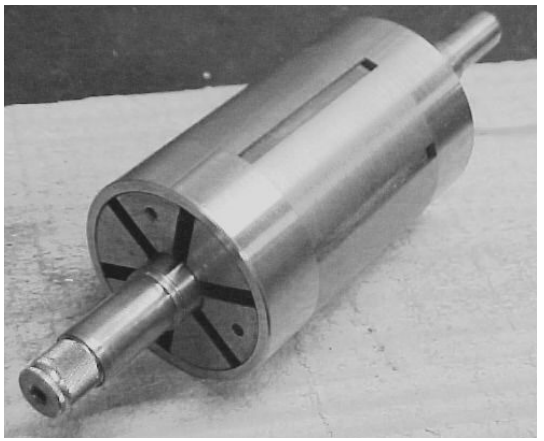
ROTOR COM ÍMÃS INTERNOS E SEGMENTOS MAGNÉTICOS QUE SE PROJETAM ALÉM DO COMRIMENTO DO ESTATOR

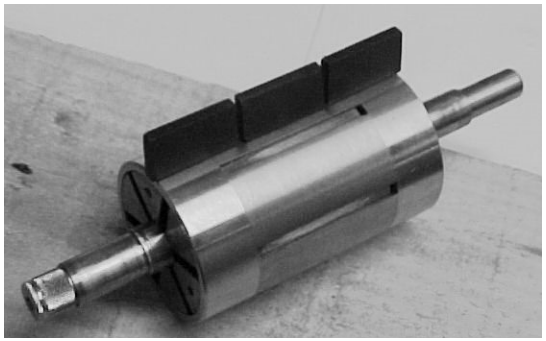
➔ ***TOPOLOGIA COM CONCENTRAÇÃO AXIAL DE FLUXO***

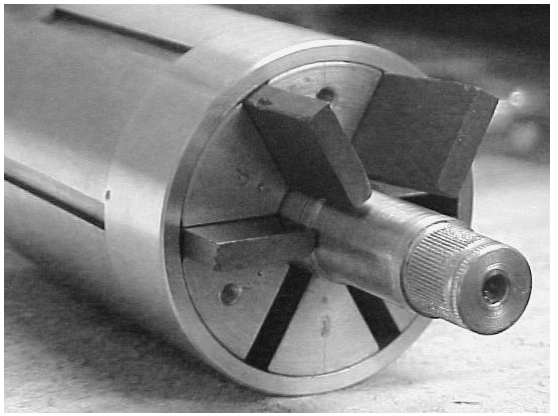


ÍMÃS INSERIDOS EM CANALETAS COM CONCENTRAÇÃO AXIAL DE FLUXO

➔ ***RETENÇÃO MECÂNICA POR ANÉIS AMAGNÉTICOS***







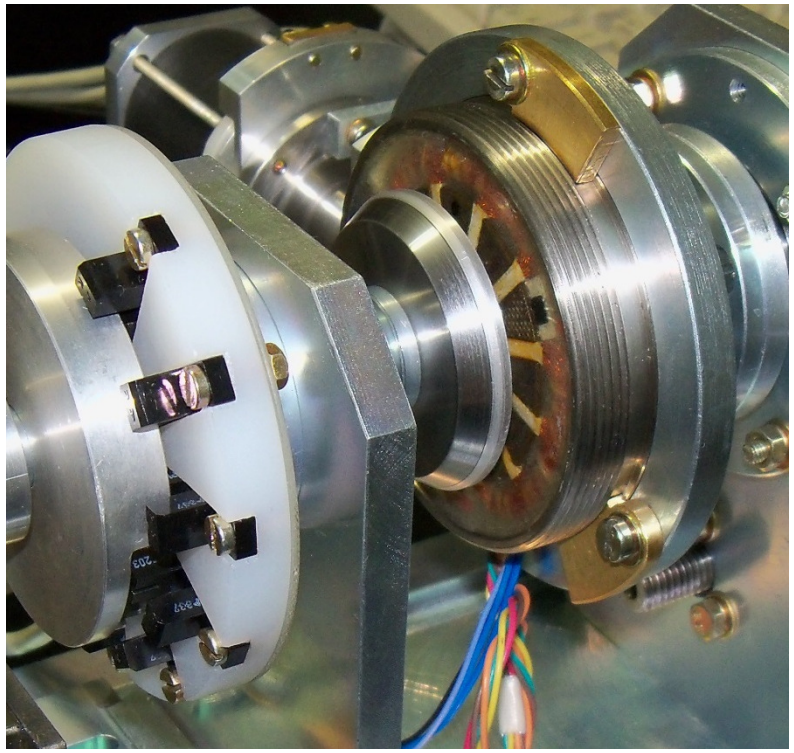
PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

EXEMPLOS CONSTRUTIVOS DE MOTORES C.C. BRUSHLESS

MOTOR BRUSHLESS DE FLUXO AXIAL

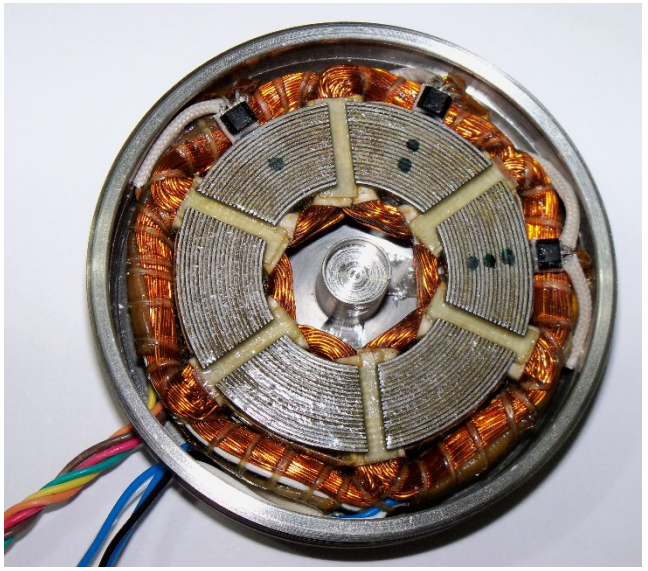
➔ *USO MÉDICO (ACIONAMENTO DE BOMBA DE CIRCULAÇÃO SANGUÍNEA NO D.A.V. – DISPOSITIVO DE AUXÍLIO VENTRICULAR)*

➔ *MONTADO NA BANCADA DE TESTES*



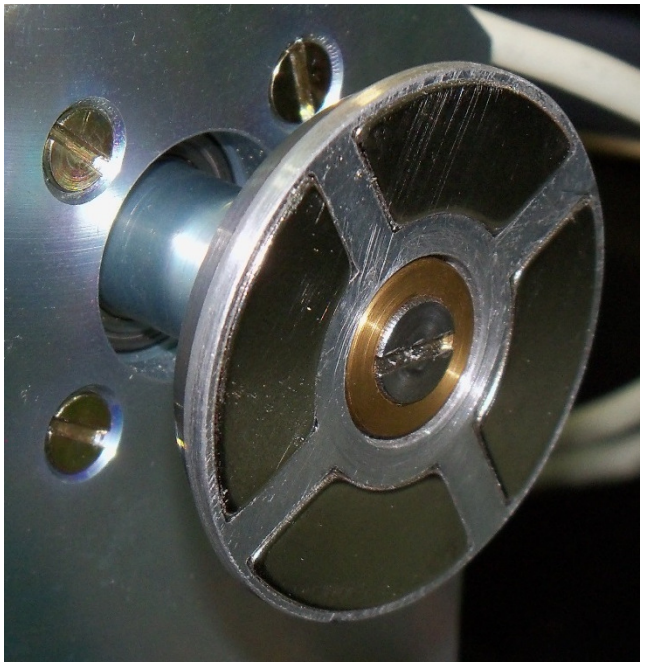
ESTATOR DE FLUXO AXIAL COM LAMINAÇÃO CIRCUNFERENCIAL

➔ *4 POLOS - TRIFÁSICO*



ROTOR DE FLUXO AXIAL - 4 POLOS

➔ *ÍMÃS SUPERFICIAIS COLADOS*

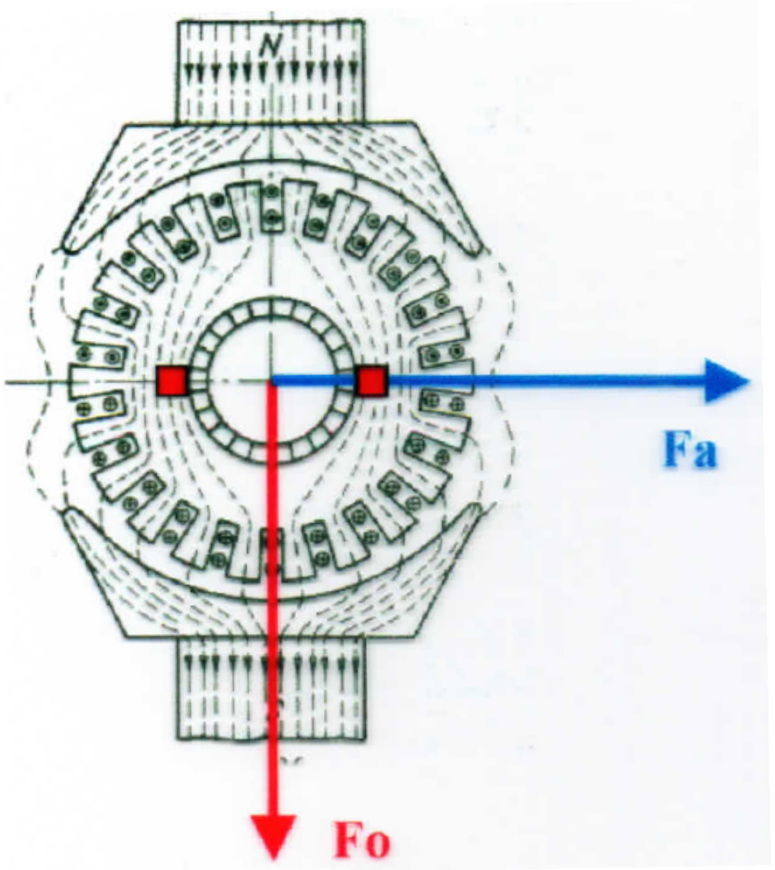


PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

CONCEITUAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO MOTOR C.C. BRUSHLESS

Fa ➔ ***FORÇA MAGNETOMOTRIZ DE REAÇÃO DE ARMADURA, PRODUZIDA PELO ENROLAMENTO DO ROTOR***

Fo ➔ ***FORÇA MAGNETOMOTRIZ DE EXCITAÇÃO, PRODUZIDA PELO ENROLAMENTO DE CAMPO OU POR ÍMÃS PERMANENTES NO ESTATOR***



OPERAÇÃO DO MOTOR C.C. CONVENCIONAL:

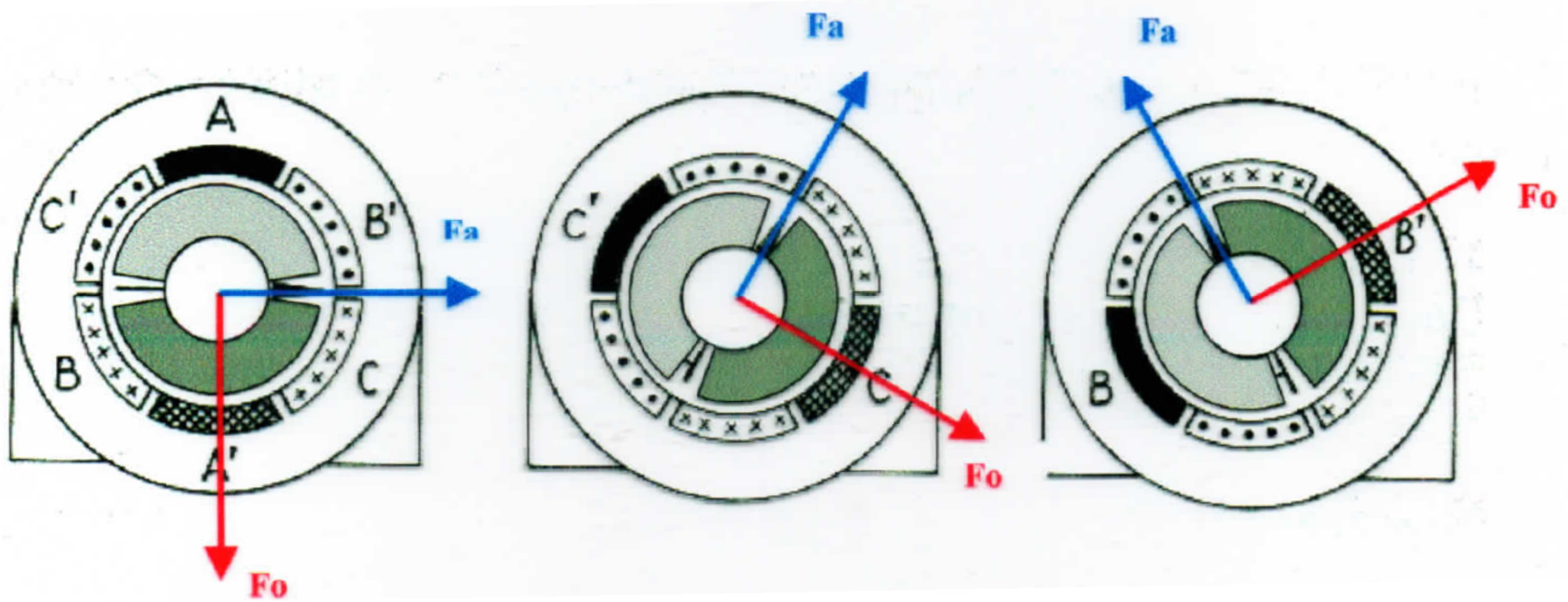
ENROLAMENTO PSEUDO-ESTACIONÁRIO (COMUTADOR + ESCOVAS)

Fa : PRODUZIDA SEMPRE PERPENDICULAR A Fo, INDEPENDENTE DA POSIÇÃO E VELOCIDADE DO ROTOR

INVERSÃO DOS CONDUTORES DA ARMADURA (COMUTAÇÃO) REALIZADA MECANICAMENTE

PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

CONCEITUAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO MOTOR C.C. BRUSHLESS



OPERAÇÃO DO MOTOR C.C. BRUSHLESS:

ENROLAMENTO DO ESTATOR COMPOSTO DE FASES INDIVIDUAIS COM ALIMENTAÇÃO CHAVEADA

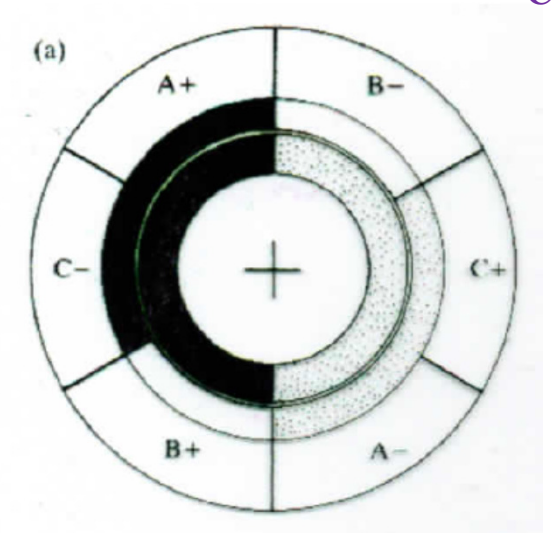
Fo É SÓLIDÁRIA AO ROTOR ORIENTADA CONFORME A POSIÇÃO ANGULAR DO MESMO

Fa É DESLOCADA DE MODO A SE MANTER "PERPENDICULAR" A Fo POR CHVEADAS ADEQUADA DAS FASES

INVERSÃO DAS BOBINAS ESTATÓRICAS REALIZADA ELETRONICAMENTE

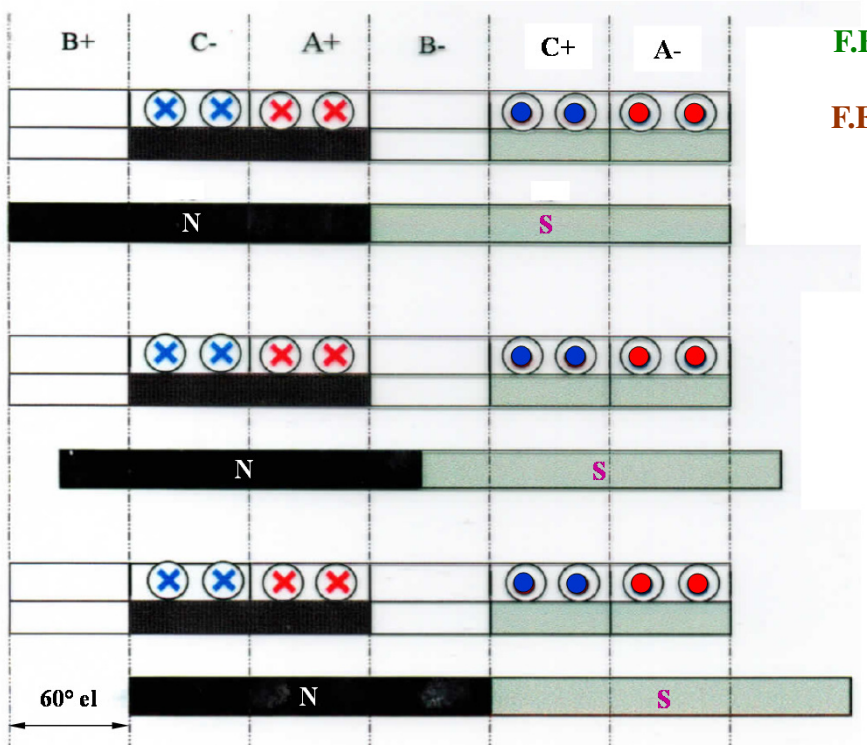
PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

CONCEITUAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO MOTOR C.C. BRUSHLESS



DURANTE TODO O PERCURSO DE 60° el. DO ROTOR, OS CONDUTORES DO ESTATOR (A+) E (C-) ESTÃO SOB A AÇÃO DO POLO MAGNÉICO "N" DO ROTOR, ENQUANTO OS CONDUTORES (A-) E (C+) ESTÃO SOB A AÇÃO DO POLO MAGNÉTICO "S"

➔ ***INTERAÇÃO ELETROMAGNÉTICA FICA CONSTANTE NO INTERVALO***



F.E.M. MOCIONAL INDUZIDA: $E = K.B.L.V = K.\phi.\omega$

F.E.M. MECÂNICA DESENVOLVIDA: $Fmec = K.B.L.I$ OU $C = K.\phi.I$

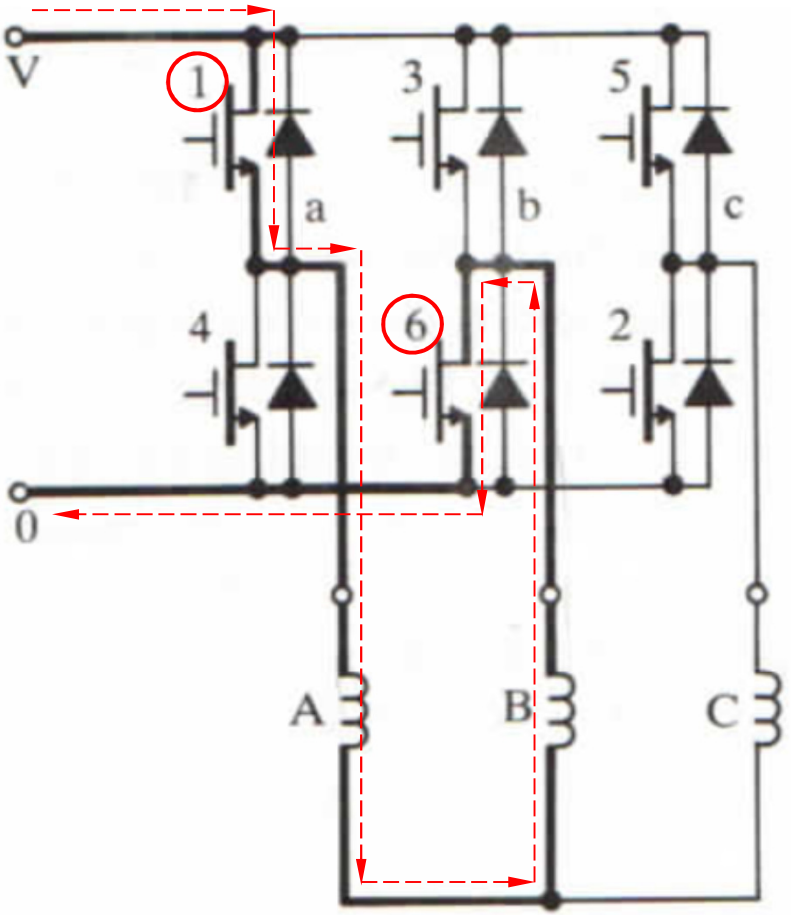
AO FINAL DO INTERVAÇO DE 60° el. A CORRENTE DE (C-) É TRANSFERIDA PARA (B-) E A CORRENTE DE (C+) PARA (B+)

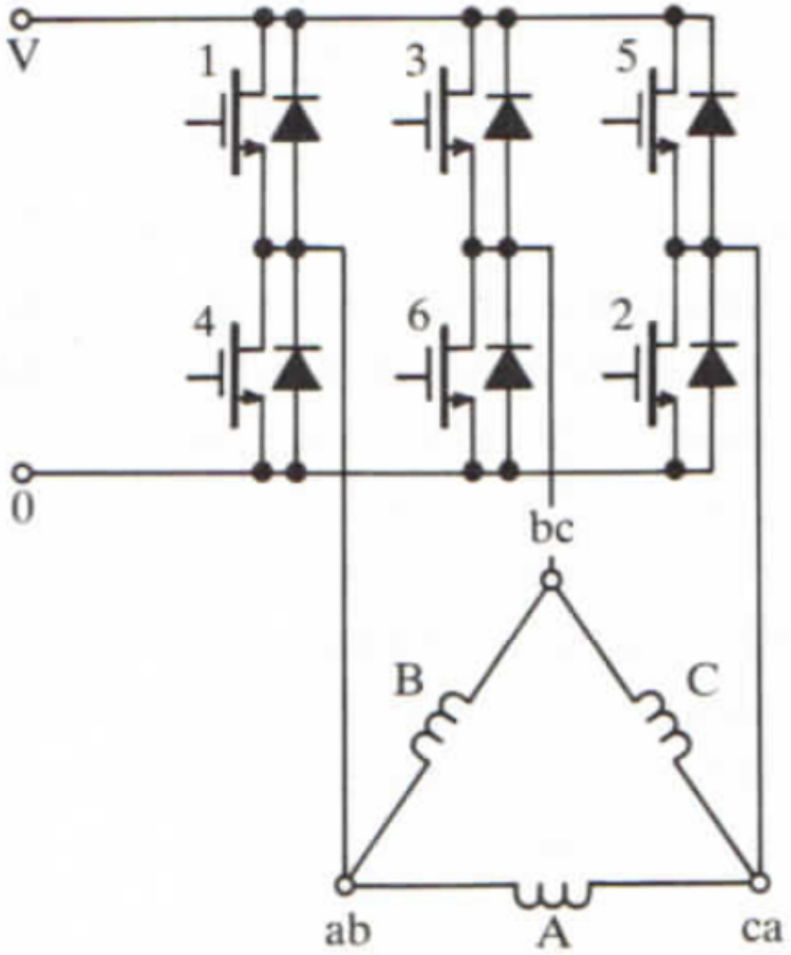
➔ ***INTERAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS CONTINUAM CONSTANTES NO PRÓXIMO INTERVALO***

PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

TOPOLOGIA DO CIRCUITO DE COMUTAÇÃO DAS FASES DO MOTOR C.C. BRUSHLESS

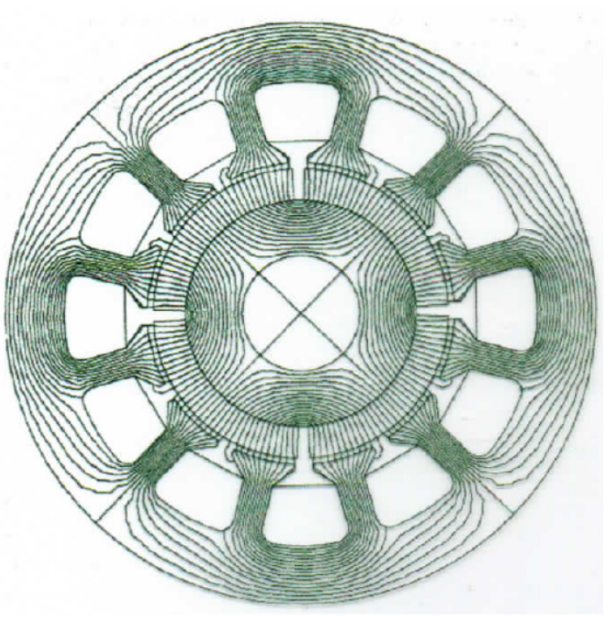
SEQUÊNCIA DE CHAVEAMENTO: 1-2 ; 2-3 ; 3-4 ; 4-5 ; 5-6 ; 6-1 ; 1-2 .....



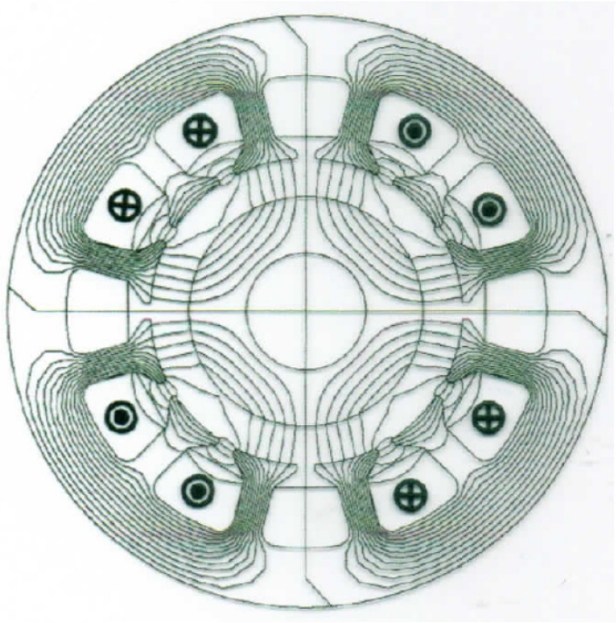


PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

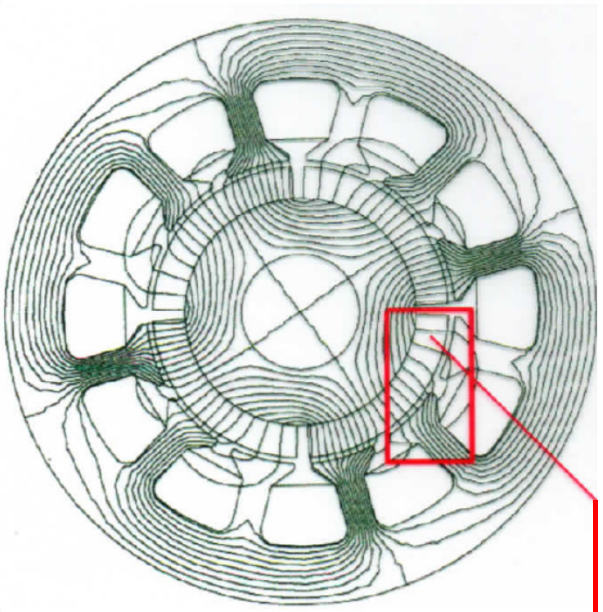
RISCO DE DESMAGNETIZAÇÃO DOS ÍMÃS PERMANENTES NO MOTOR C.C. BRUSHLESS



CAMPO EXCLUSIVO DOS ÍMÃS PERMANENTES (FLUXO DE MAGNETIZAÇÃO)



CAMPO EXCLUSIVO DAS CORRENTES ESTATÓRICAS (FLUXO DE REAÇÃO DE ARMADURA)

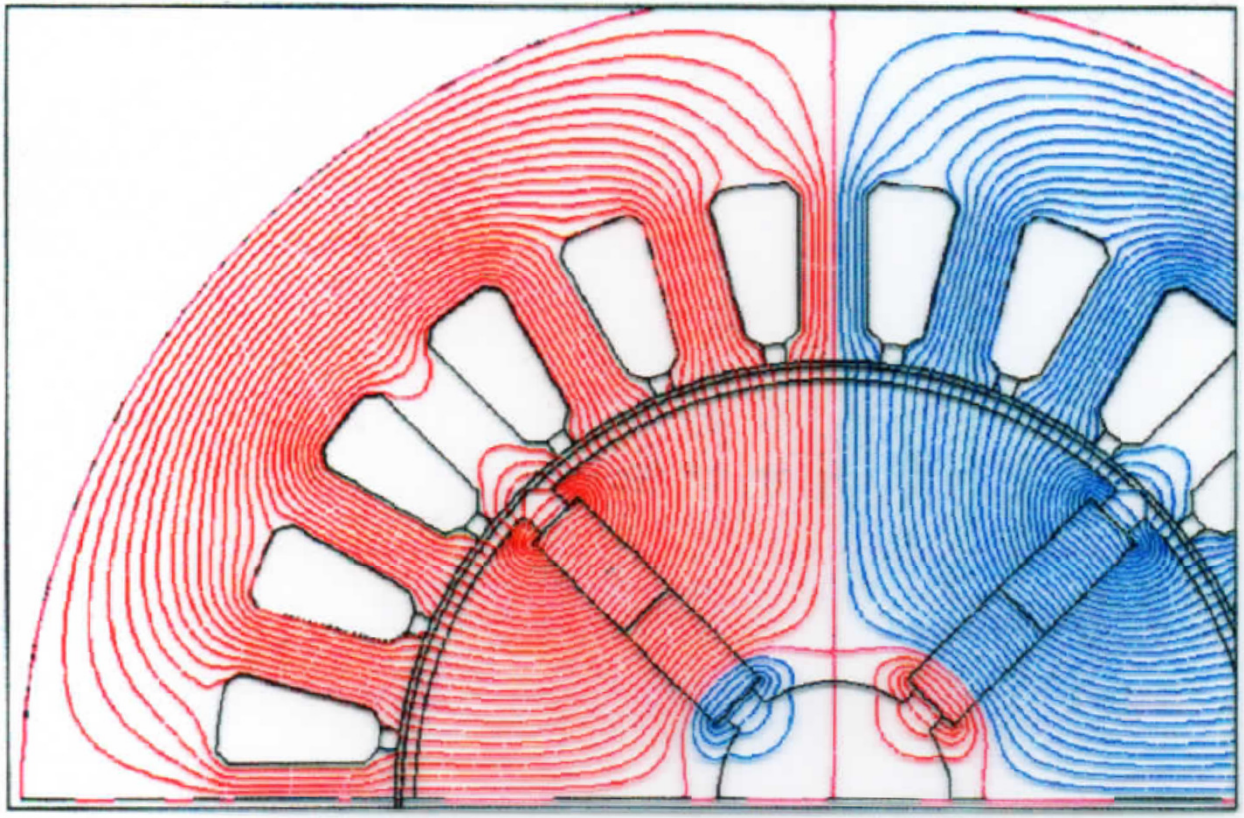


CAMPO RESULTANTE

REGIÃO DO ÍMÃ PASSÍVEL DE DESMAGNETIZAÇÃO

PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

RISCO DE DESMAGNETIZAÇÃO DOS ÍMÃS PERMANENTES NO MOTOR C.C. BRUSHLESS

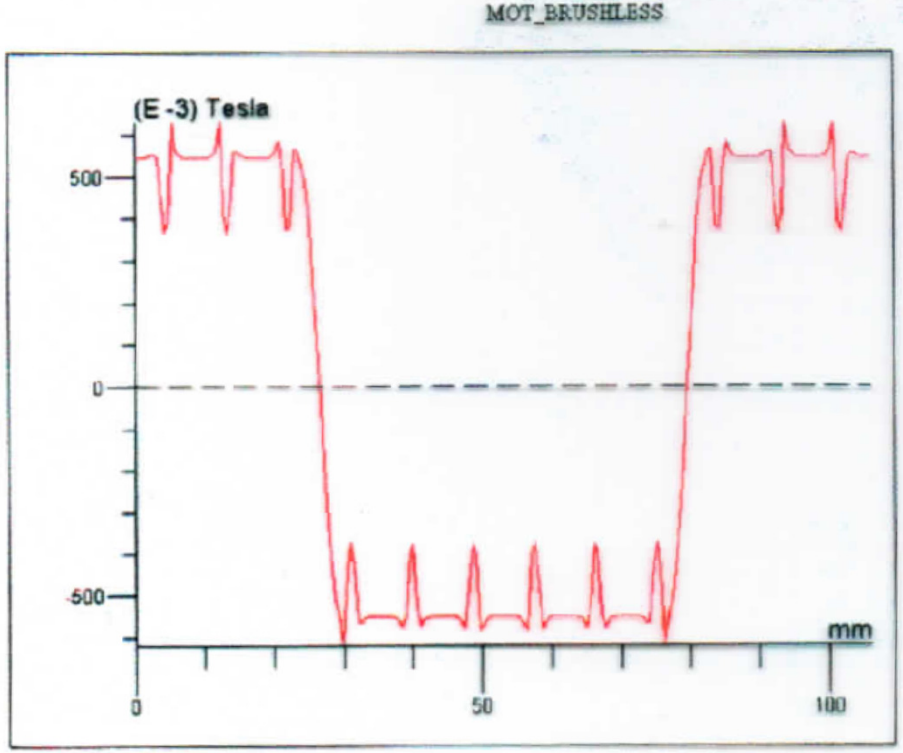


Configuração de rotor com imãs enclausurados em matriz ferromagnética

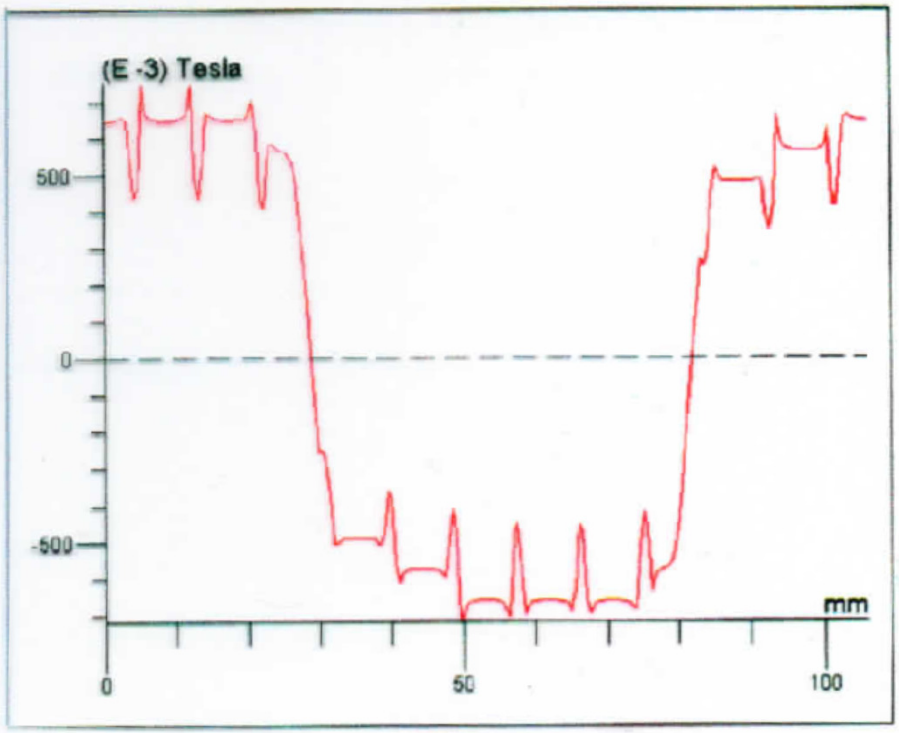
MENOR SUSCEPTIBILIDADE À DESMAGNETIZAÇÃO

RISCO DE DESMAGNETIZAÇÃO DOS ÍMÃS PERMANENTES NO MOTOR C.C. BRUSHLESS

Distribuição de induções magnéticas no entreferro



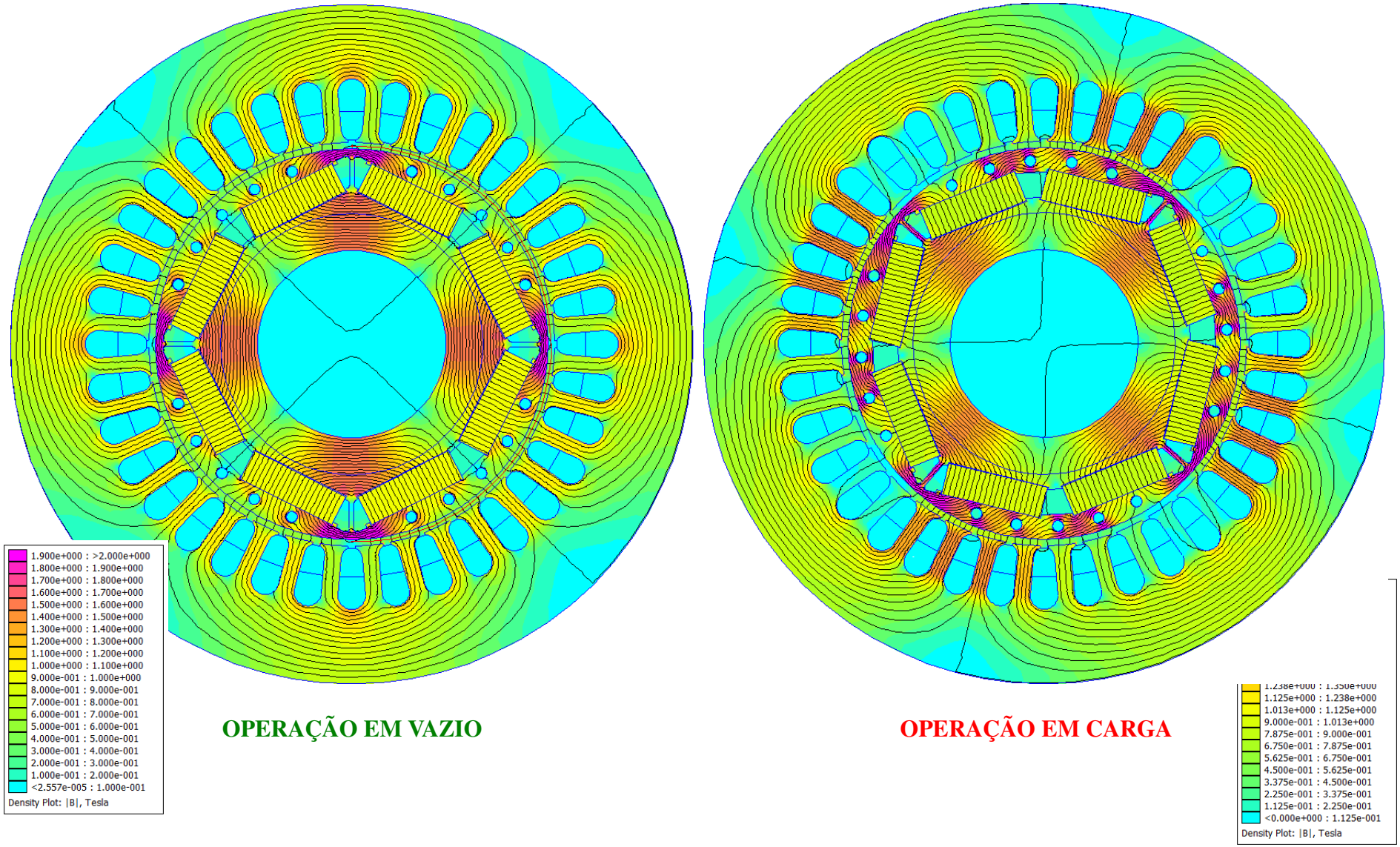
EM VAZIO



EM CARGA

PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES “BRUSHLESS”

DISTRIBUIÇÃO DE CAMPO NO MOTOR C.C. BRUSHLESS

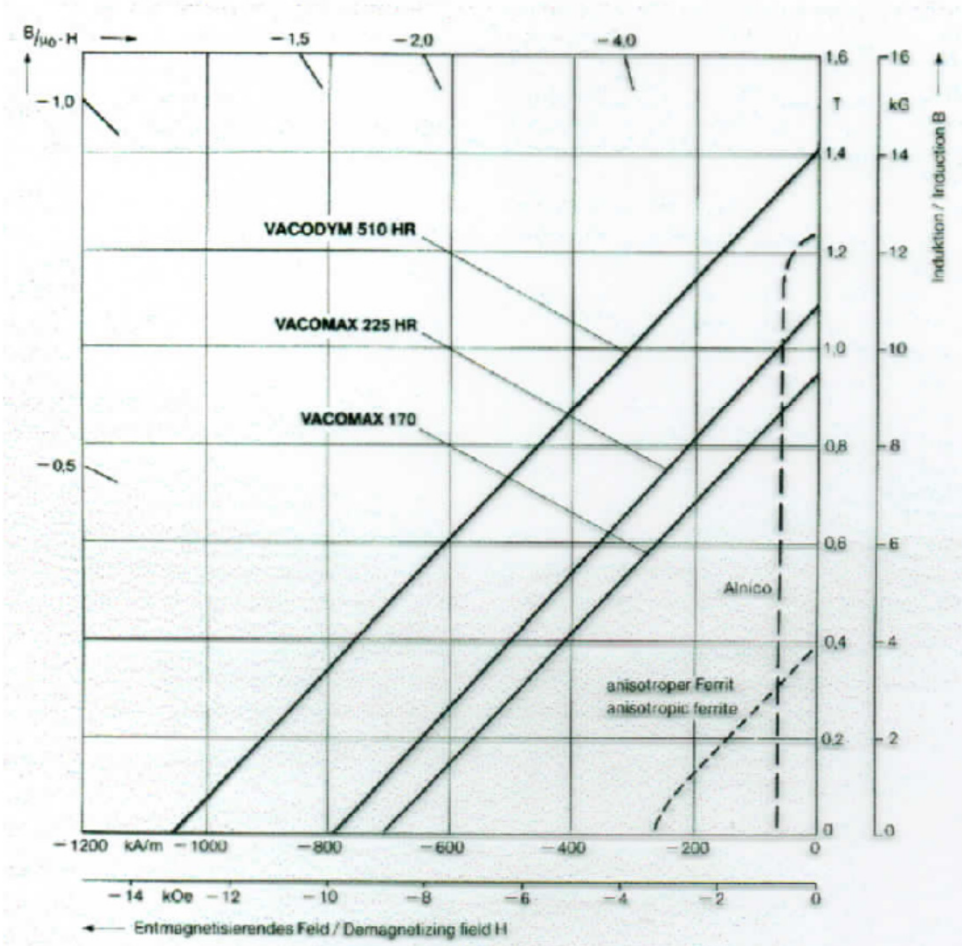


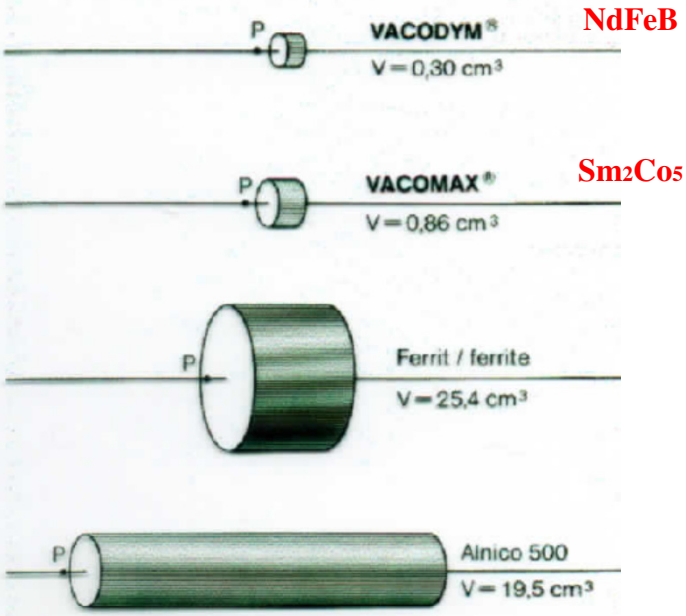
OPERAÇÃO EM VAZIO

OPERAÇÃO EM CARGA

PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

VOLUMES RELATIVOS DE ÍMÃS PERMANENTES UTILIZADOS EM MOTORES C.C. BRUSHLESS



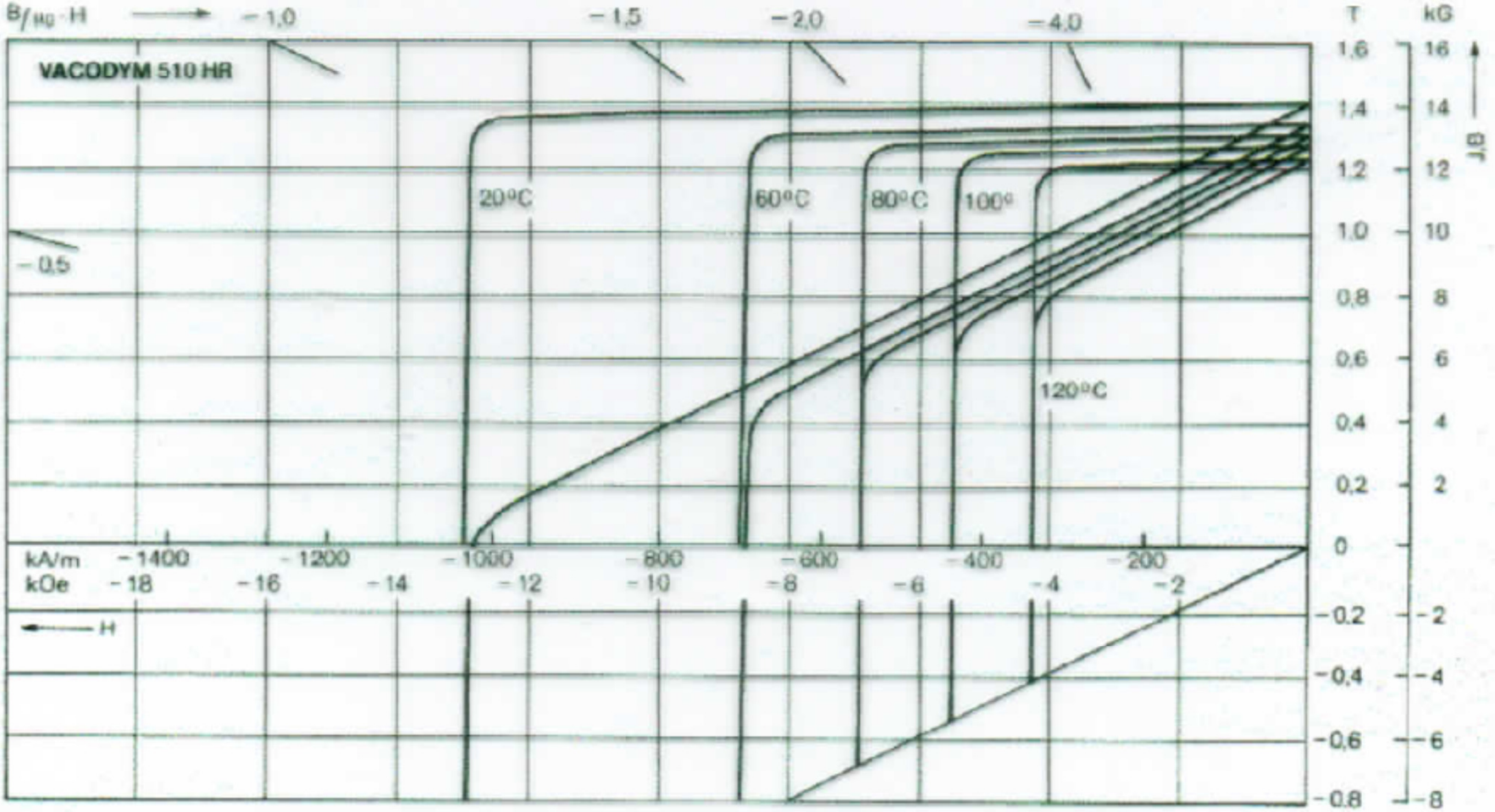


Características comparativas entre materiais para imãs permanentes:

NdFeB - Sm_2Co_5 - Alnico - Ferrite

PEA – 5728 - Parte 7: MOTORES "BRUSHLESS"

ÍMÃS PERMANENTES UTILIZADOS EM MOTORES C.C. BRUSHLESS



Efeito da temperatura sobre as características do NeFeB