

Artigo REF: 14A007

RECONFIGURAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORIENTADOS AO PRODUTO: ESTUDO DE UM CASO INDUSTRIAL

Alexandre Cardoso^(*), Pedro Arezes, Anabela Alves e S. Carmo Silva

¹Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Departamento de Produção e Sistemas

^(*)Email: cardosoalex@netcabo.pt

RESUMO

Neste artigo apresenta-se o trabalho realizado numa empresa de esquentadores Bosch Buderus Termotecnologia Portugal. O objectivo deste trabalho foi a reconfiguração da linha existente de montagem final de esquentadores para duas células de montagem.

A dificuldade em adaptar de maneira eficiente e eficaz a produção da linha às variações de modelos a produzir impunha a sua reorganização. Desta forma, a empresa decidiu experimentar novas configurações de sistemas de produção e, neste caso, de células de montagem.

Da implementação do estudo realizado resultaram melhorias importantes no desempenho do sistema de produção, em particular, simplificações dos fluxos de materiais com economias substanciais de tempo e distâncias percorridas e ainda redução importante do número de operadores necessários para satisfazer a procura.

1. INTRODUÇÃO

No processo de transição para as técnicas de produção japonesas, conhecidas pelo *Toyota Production System* (Monden, 1983) e *Lean Manufacturing* (Womack e tal., 1990, 1996), designadas pela Bosch Buderus Termotecnologia (BBT) como *Bosch Production System* (BPS), foi tomada a decisão de substituir as linhas tradicionais de montagem final de esquentadores por células de *layout* U. Estas medidas visavam implementar o sistema de *pull flow* nas linhas de montagem final.

Pretende-se que este estudo contribua para o conhecimento e compreensão das vantagens inerentes ao sistema de produção *Lean Manufacturing*, especificamente a redução de custos de produção, permitindo à empresa obter maior lucro com os mesmos recursos.

A empresa possuía originalmente duas linhas de montagem final onde eram montados duas famílias de mercado de diferentes modelos de esquentadores, correspondentes a cinco famílias de montagem diferenciadas.

No processo de reconfiguração dos sistemas de produção, as orientações da filosofia *Just-In-Time* e do *Lean Manufacturing* foram exploradas seguindo a metodologia do *Bosch Production System* (Bosch, 2007). Uma das linhas fora então convertida em duas células de montagem para uma das famílias de esquentadores.

Um aspecto fundamental no projecto das células seria eliminar sempre que possível todas as operações sem valor acrescentado. Adicionalmente era importante permitir a variação das taxas de produção dos vários modelos de esquentadores de acordo com as variações da procura. Desta forma, o projecto desenvolveu-se de forma a possibilitar esta variação à custa de arranjos variáveis de número de operadores nas células pelo que foi estudado um adequado enquadramento das configurações das células projectadas com as existentes. Exploraram-se

várias alternativas do arranjo das 4 células no enquadramento global com os circuitos de abastecimento de materiais e escoamento de produto acabado. Um dos aspectos importantes de análise foi o fluxo de materiais integrado desde zonas de produção de componentes e armazéns até ao encaminhamento de produto acabado, incluindo fluxo interno nas células. A área ocupada e o acesso às células de cada configuração integrada das 4 células foram outros aspectos considerados.

Este artigo está estruturado em 6 secções principais. Após esta, de introdução, é descrita na secção 2 o sistema de produção existente na empresa antes da implementação das duas células novas, na secção 3 é realizada uma análise crítica ao sistema existente e apresentado o projecto de novas células na secção 4. A secção 5 explora as alternativas do arranjo global das células projectadas com as existentes e na secção 6 são tecidas algumas considerações finais.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO

2.1. Famílias de artigos e de montagem

A gama de produtos produzidos é composta por duas famílias. A família A, que se divide nos modelos: A1, A2, A3 e A4, e, a família de B que se divide em diversos modelos como por exemplo: B1, B2, B3, B4, B5, B6, e outros.

Os artigos produzidos pelas linhas de montagem final dividem-se em 4 famílias de montagem. Estas são as famílias F1, F2, F3 e F4.

2.2. Descrição da linha de montagem final L2

A linha de montagem final L2 é dividida em 4 partes, como se pode constatar na Figura 1. A zona de montagem do subconjunto de gás/água, a zona de montagem final, a zona de ensaio funcional dos esquentadores e a zona de embalagem e paletização.

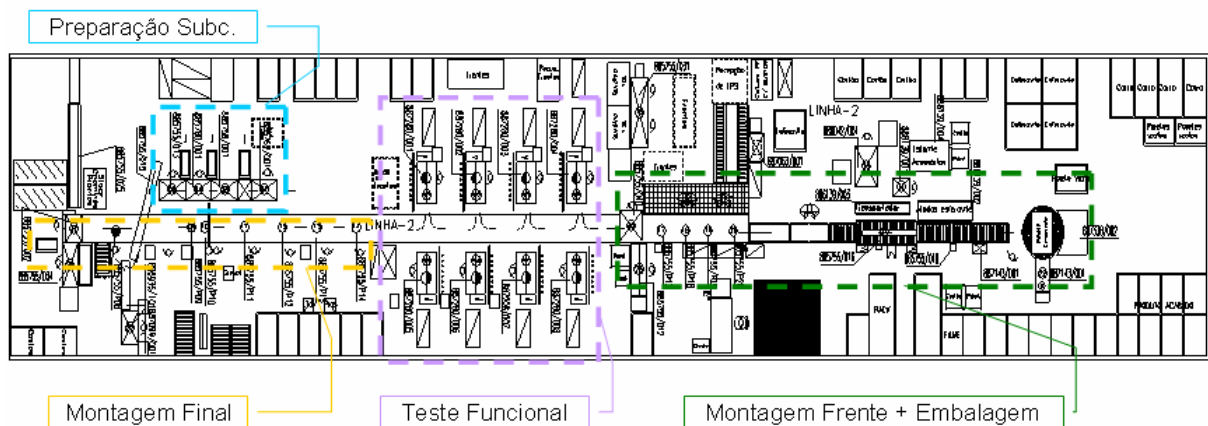


Figura 1. Linha de montagem final 2 (L2)

A linha está dividida em 33 postos de trabalho. Os postos de trabalho são denominados de ilhas porque a movimentação entre postos adjacentes é difícil, por haver stocks de material espalhados pela linha. Existe um claro problema de falta de balanceamento da linha. Sendo a área de montagem da frente e embalagem, a zona crítica da linha, os operadores da zona de preparação do subconjunto são necessários aí, mas a sua movimentação é impossível por serem obrigados a percorrer uma distância demasiado longa e por entre obstáculos (stocks de material espalhados na linha). Também a comunicação entre todos os operadores e o coordenador da linha é complicada, pois a linha tem cerca de 40 metros de comprimento.

O sistema de abastecimento, ilustrado na Figura 2 **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, visa alertar o responsável pelo abastecimento para os postos que têm falta de material através de um sistema de luzes.

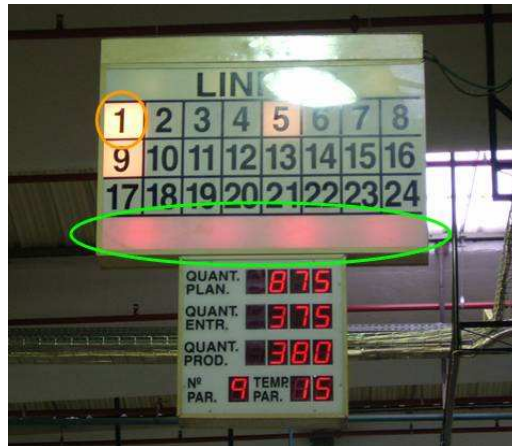


Figura 2. Sistema de abastecimento da linha 2

2.3. Células de montagem final C1 e C2

As células 1 e 2, visíveis na Figura 3, resultaram de um processo de reestruturação baseado no BPS, que deu origem à substituição de uma linha similar à L2, tendo em vista implementar o sistema *pull flow*. Neste trabalho, estas células constituem um “input” fundamental ao estudo da reorganização fabril pretendido destinado à produção actualmente afectada à linha 2.

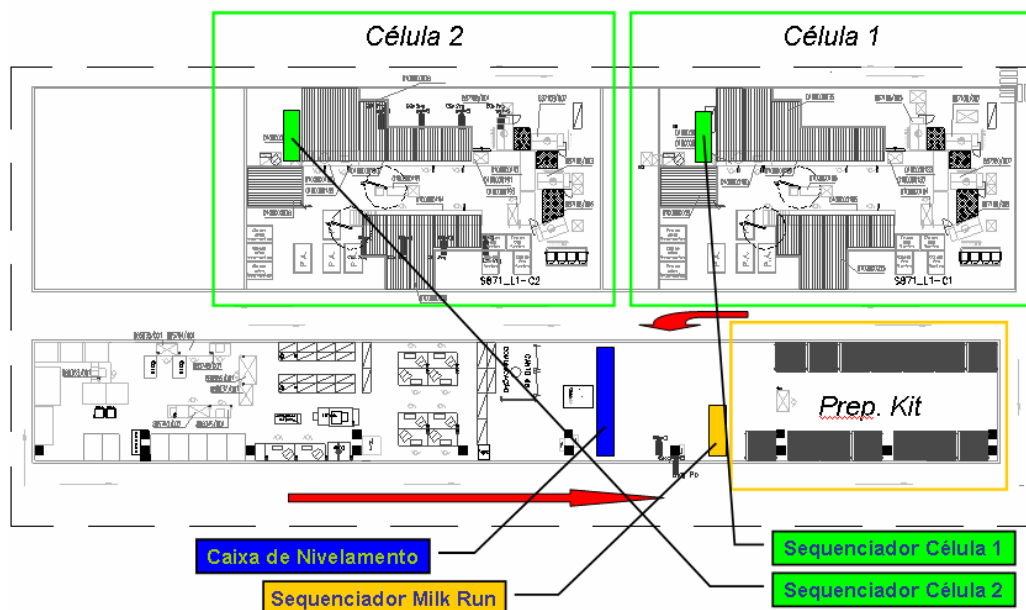


Figura 3. Células C1 e C2

Cada célula tem 12 postos de trabalho, e está dividida em 3 partes. A primeira parte corresponde à zona de montagem final, onde é montada a estrutura do esquentador. A estrutura consiste nas costas do esquentador, chaminé e câmara de combustão. A segunda zona consiste nos postos de ensaio de estanquicidade. Estes postos estão dispostos fora do “U” por serem demasiado grandes para estarem inseridos dentro da célula. Estes postos são idênticos aos seus homólogos na linha 2. A terceira parte da célula consiste na montagem da frente e a embalagem do esquentador. A filmagem da palete, que consiste no envolvimento da paleta e caixas com película retráctil, não ocorre nas células, mas sim na zona de entrega das paletes para a logística externa. Isto sucede por haver falta de espaço físico na célula para

colocar esta máquina e para não haver duplicação de máquinas, podendo este equipamento estar partilhado com outras células (Silva e Alves, 2004).

As ordens de produção para as células são dadas através do sistema de cartão *kanban*. Cada *kanban* representa uma ordem de produção de 16 unidades de artigo. O responsável da zona de preparação da embalagem retira o *kanban* da caixa de nivelamento e imprime três listas de *picking*. Cada lista de *picking* é destinada respectivamente à zona de preparação de embalagem, ao carro logístico que efectua o percurso de *milk run* para a célula, e ao carro logístico que efectua o percurso de *milk run* que passa pelo armazém central. As listas são folhas de papel com o material necessário a abastecer e as respectivas referências das peças específicas a retirar do supermercado de outras secções.

O sistema de abastecimento das células é feito através de carros de *milk run*. São carros dedicados à logística interna da fábrica que seguem circuitos predeterminados e recolhem as peças consoante a referência listada na lista de *picking*.

3. ANÁLISE CRÍTICA

3.1. Balanceamento dos sistemas

O balanceamento nas células é claramente uma das vantagens principais para se efectuar a mudança da linha. Ao contrário do sucedido na linha 2, nas células existe trabalho de equipa e rotatividade entre postos na zona de montagem do esquentador. No entanto, por os postos de teste funcional serem de dimensão considerável, não podem ser inseridos dentro da célula. Assim ficam excluídos da zona interna de trabalho, não se conseguindo, com a configuração actual da célula, associar estes trabalhadores ao do resto do trabalho efectuado nas células.

Em relação à linha a comunicação entre colaboradores das células é muito mais acessível por estas terem apenas 12 metros de comprimento contra os 40 metros da linha L2. O balanceamento e o diagrama de movimentação nas células estão concebidos para 3, 6, 9 ou 12 operadores, permitindo por esta forma variar a produção.

3.2. Eficiência das linhas de montagem final

Cada família de montagem tem um tempo de montagem padrão determinado pelos responsáveis da área de tempos e métodos (*Methods and time analysis* - MTM). A eficiência das linhas de montagem final é calculada através da comparação deste tempo com o tempo real para a produção desses artigos. A partir destes valores é obtida a percentagem de eficiência de cada linha.

Como se pode constatar na Figura 4, as células são claramente mais eficientes do que a L2, no entanto, deve-se ter em conta que a C1 e a C2 só produzem uma família de artigos, F1, enquanto a L2 produz quatro. A L2 produz, em média, 72% da produção das células C1 e C2.

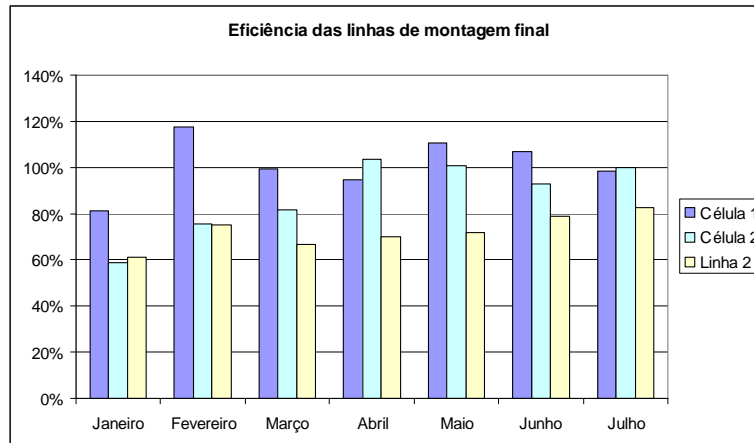


Figura 4. Eficiência das linhas de montagem final

4. PROJECTO E CONFIGURAÇÃO DE NOVAS CÉLULAS

Uma clara vantagem entre ter duas células de montagem final em vez da linha L2 está em regular a taxa de produção. A linha L2 opera com 33 colaboradores, enquanto cada das 4 células, na capacidade máxima opera com 13. Assim, se 2 células substituíssem a linha será necessário apenas 26 operadores, no máximo.

Além da evidente redução de operadores, efectuar ajustes ao plano director de produção, por via de produção através de horas extraordinárias torna-se mais simples. De facto é mais fácil convencer 12 pessoas, que normalmente operam uma célula, do que 33 a trabalhar fora do seu horário normal de trabalho. Também se torna mais fácil variar as taxas de produção para as adaptar às variações da procura, face aos arranjos alternativos de atendimento de cada célula. A distribuição e modo operativo dos operadores segue a abordagem conhecida como *working balance* que consiste em distribuir de forma equilibrada a carga manual pelos diferentes operadores e afectar a cada um, de forma invariável e permanente, um dado número de tarefas ou operações que constituem os postos de trabalho com tempos de processamento acumulados aproximadamente iguais. Cada operador vai ter uma zona de actuação ou secção considerada como uma subcélula (Black e Chen, 1995).

As células funcionam de forma independente uma da outra e portanto é simples reduzir a produção equivalente à linha, colocando as duas células a funcionar a cinquenta por cento da sua capacidade através da paragem de uma. Também o número de operadores dentro da célula pode variar conforme as necessidades de produção. Os gráficos de movimentos-execução foram estudados para a capacidade mínima de produção de uma célula, com 6 operadores, tal como para a capacidade máxima de 12 operadores.

Foram apresentadas três propostas para a implantação das duas células de montagem e implementada a que está esquematicamente representada na Figura 5. Uma destas células foi dedicada a uma família de montagem de esquentadores e a outra às restantes.

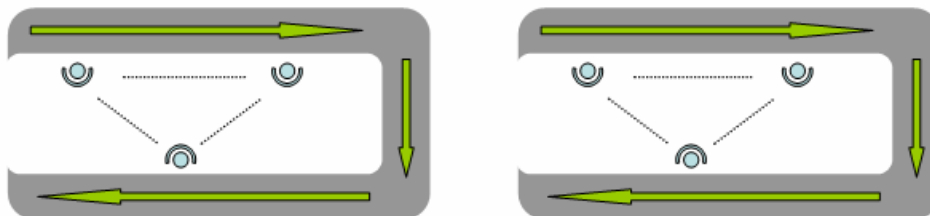


Figura 5. Layout das novas células de produção

Embora as células tenham dificuldade em ser eficazes à taxa de produção máxima que consiste na produção de 500 esquentadores por célula num turno de 8 horas, a linha 2 exhibe maiores problemas de eficácia para conseguir produzir a sua taxa de produção máxima de

1075 unidades. Verifica-se que apesar de teoricamente a linha ser capaz de produzir mais 75 unidades que as duas células por turno, na prática tal não é conseguido.

4.1. Afectação de produtos às novas células

De forma a reduzir a entropia criada pelas mudanças de produto, a produção de modelos clássicos vai ser associada somente à célula C4, permitindo ao resto do sistema de células produzir os modelos Compacto de forma fluida e eficiente. Portanto, à imagem da C1 e C2, a C3 vai produzir a família F1, enquanto a C4 vai produzir a família F2, F3 e F4.

4.2. Balanceamento da célula C4

A esta nova célula é exigida a capacidade de produção de modelos clássicos, cuja procura tende a decrescer. Por tal razão, a folha de trabalho standard na célula C4 deve contemplar o uso de 3, 7, 10 ou 13 operadores, de forma a aproximar o tempo de ciclo planeado do artigo produzido na célula ao *takt time* do cliente, isto é ao ciclo da procura. A cada operador, para as diferentes combinações de operadores na célula, é associado um determinado número de tarefas e movimentações, até este ter um tempo de operação aproximado ao tempo de ciclo pretendido.

Como se pode constatar na Tabela 1, a menor produção da célula é determinada por um arranjo com 3 operadores resultando daí a capacidade prática para produzir 128 aparelhos num turno de 7,5 horas, sensivelmente idêntica à procura.

Tabela 1. Número de operadores na célula 4 para o produto B6

Operadores	13	10	7	3
Tempo ciclo planeado (cliente)	53,2	68,8	103,1	206,3
Tempo ciclo Planeado	47,9	61,9	92,8	185,7
Output	496	384	256	128

5. EXPLORAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE LAYOUT INTEGRADO

O *layout* versão 0 trata-se da implementação das células C3 e C4 com a mesma orientação que as células C1 e C2, tratando-se portanto da replicação do conjunto de 2 células, como se pode constatar na Figura 1. Esta versão do *layout*, neste artigo, é nomeada como a versão 0, por ser a solução original apresentada pela empresa.



Figura 1. Layout versão 0

No *layout* versão 1, representado na Figura 2, as zonas de produto acabado confluem para um único local, localizado no centro da área das células. Aqui pode ser feita a filmagem do produto acabado, que actualmente não é feita nesta zona, e o supermercado de peças do armazém local também pode ser deslocado para o *layout*, o que implica uma redução no percurso de *milk run*. No entanto, colocar o próprio supermercado no *layout* implica que a empresa adopte a política *ship-to-line*, que basicamente consiste em os fornecedores entregarem as caixas de componentes no próprio supermercado, e não na zona de descargas da empresa. Esta política não é actualmente utilizada na empresa por as movimentações de pessoal estranho à empresa no *layout* fabril provocar entropia no sistema e por ter havido furtos de sucata de cobre no passado.

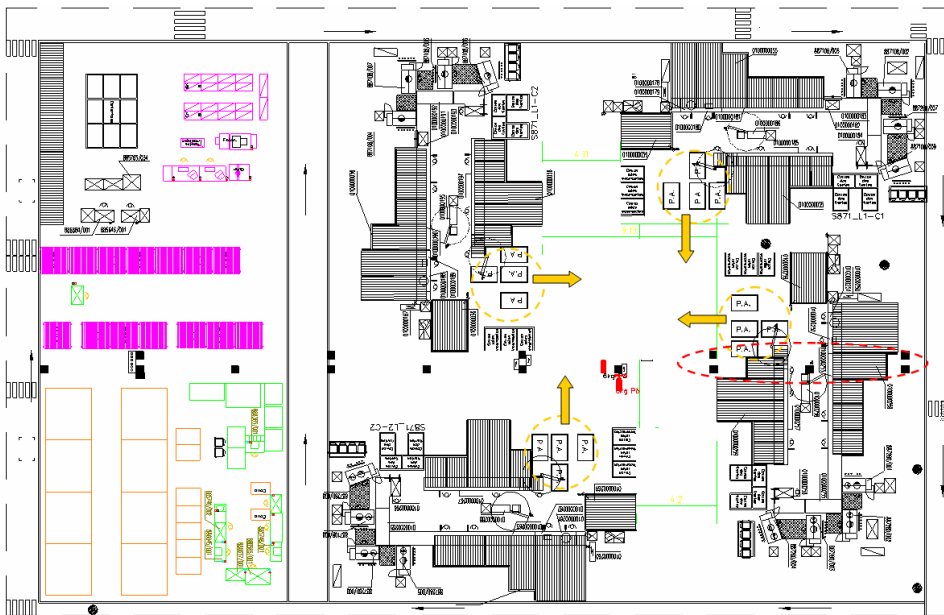


Figura 2. Layout versão 1

O *layout* versão 2, representado na Figura 3, consiste em aproximar as células, deslocando a zona de kits para a esquerda. As células estão dispostas em dois pares, sendo a zona de ensaio para cada par de células uma zona comum, dando a possibilidade de efectuar-se o balanceamento de operadores para o conjunto. Produzindo o mesmo modelo, as duas células tornam-se num H. A zona de preparação de chaminés é deslocada da secção das prensas para o próprio *layout*, permitindo eliminar distância de transporte e aproximar estes componentes das linhas de montagem final. Esta versão apresenta vantagens significativas na rentabilização do espaço fabril, embora dificulte a normalização dos caminhos de *milk run*, pelos corredores não serem idênticos para cada conjunto de células.

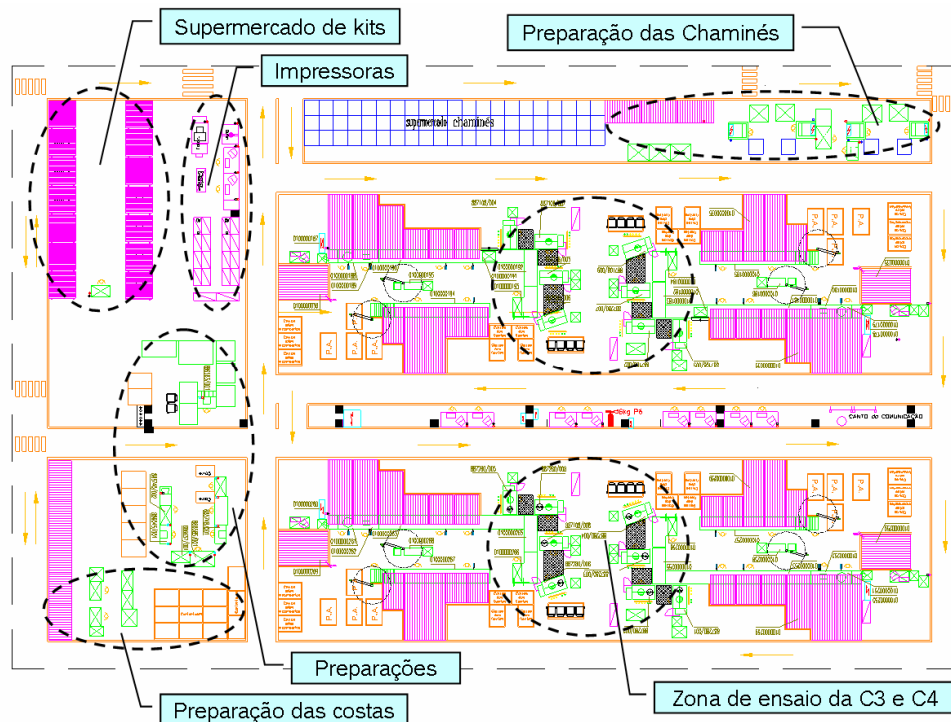


Figura 3. Layout versão 2

O *layout* v3, representado na Figura 4, difere em pouco da versão 0, sendo que a principal diferença está no facto das células C3 e C4 serem rodadas 180°. Isto faz com que o produto final conflua para o centro da área. Apesar de não ser possível fazer o balanceamento de postos de ensaio entre células, esta implementação torna o circuito logístico extremamente transparente por gerar apenas dois caminhos de *milk run*. O circuito a verde alimenta o bordo direito das quatro células (com o número 1), e o circuito a azul alimenta o bordo esquerdo da célula (com o número 2).

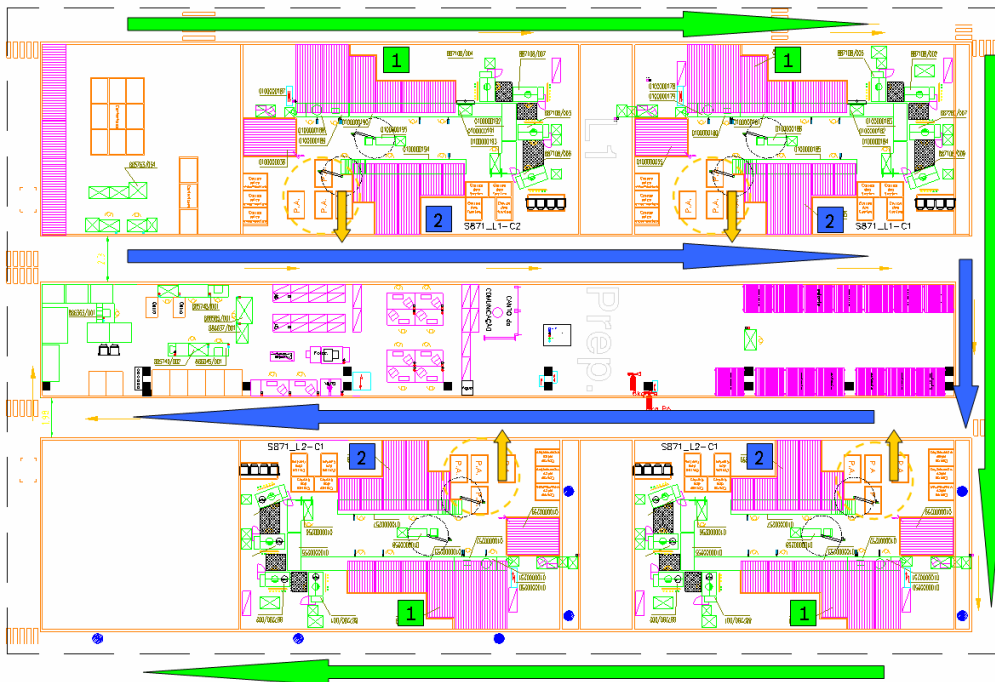


Figura 4. Layout versão 3

5. 1. Resultados

Depois de apresentadas as alternativas, as soluções devem ser avaliadas de forma a estabelecer a que melhor pode satisfazer os objectivos de produção, tendo subjacentes os princípios e recomendações do BPS e da Produção *Lean*.

Cada uma tem suas vantagens e desvantagens. E a pergunta que se coloca é qual destas alternativas de reorganização se deve seleccionar. Para ajudar a encontrar a alternativa que melhor pode servir o processo utilizou-se o Método de Análise de Factores (Hitomi, 1979), que tal como o próprio nome indica equaciona factores de avaliação para encontrar a melhor solução. O método desenvolve-se segundo o seguinte procedimento:

- Listar todos os factores, considerações, critérios, ou objectivos que são envolvidos ou considerados importantes na avaliação de alternativas;
- Mostrar a importância relativa de cada um destes factores;
- Avaliar cada proposta alternativa para cada factor indicando o valor da respectiva avaliação;
- Calcular os valores pesados através do produto do peso de cada factor e a avaliação de cada proposta;
- Somar os valores pesados para cada alternativa e comparar os totais das soluções alternativas;
- Seleccionar a alternativa com o valor total o mais elevado.

Através destes conceitos foi elaborada a Tabela 2. Esta mostra a classificação dada por factor para cada *layout*. Da soma ponderada da totalidade dos factores é obtida a classificação final para cada *layout*. Foram analisados 5 *layouts*, 4 deles descritos neste trabalho, e o *layout* intitulado “Linhas”, que representa a configuração de produção com as linhas de montagem final antigas. A Tabela 2 mostra a classificação dada por factor para cada *layout*. Da soma ponderada da totalidade dos factores é obtida a classificação final para cada *layout*.

Tabela 2. Avaliação ponderada dos layouts

Factores Considerados	Peso	Avaliação				
		Linhas	Layout 0	Layout 1	Layout 2	Layout 3
Área	4	2	4	5	5	4

Produção/Hora	5	3	4	4	4	4
Ergonomia	3	3	4	4	4	4
Abastecimento	3	3	4	2	3	5
Versatilidade	4	2	4	4	4	4
Work in Process	3	3	4	4	4	4
Throughput Time	4	2	4	4	4	4
TOTAL		66	104	102	105	107

5.2. Discussão

A configuração em sistema de células permite que haja uma maior transparência no processo, permitindo identificar e eliminar perturbações e deficiências associada à linha, além de aumentar a flexibilidade produtiva.

A afectação de um número elevado de famílias de artigos às células novas traz algum grau de complexidade a estas, e de forma a reduzir o impacto negativo na eficiência das células é feito o compromisso de dedicar apenas uma das células de montagem aos artigos B e C, ou seja, aos artigos com menor procura. O funcionamento das novas células, quando feito com apenas 3 operadores, apresenta níveis de eficiência interessantes e pode ser uma boa solução para a produção dos modelos com procura reduzida.

A Tabela 2, de análise de factores e avaliação dos *layouts*, demonstra que as células de produção têm capacidade para apresentar melhorias em relação as linhas na totalidade dos factores considerados para avaliação. Da análise da mesma tabela, o *layout* versão 3 destaca-se pela positiva como o *layout* com melhor classificação neste sistema de avaliação, podendo concluir-se que esta proposta apresenta potencial para ultrapassar a implementação actual de células, por conseguir apresentar simplificações significativas nos circuitos de abastecimento por *milk run*, resultando num processo mais transparente, mais fiável, e conseqüentemente, menos susceptível ao erro. Basicamente, esta configuração cria duas rotas para o lado esquerdo e direito do conjunto de 4 células, permitindo aos operadores dos carros logísticos ter uma interacção entre as prateleiras de abastecimento das células sempre com a mesma orientação, possibilitando a permutação entre a alimentação de células de forma simples e eficiente.

6. CONCLUSÃO

O principal objectivo do trabalho foi organizar um sistema de produção à luz de novos paradigmas organizacionais largamente testados e conducentes a melhorias de produtividade, corporizados no chamado *Bosch Production System* (BPS), continuando a garantir a satisfação da procura de esquentadores a gás destinados a águas sanitárias. Por isso, este trabalho começa por apresentar a abordagem conceptual à organização da produção com ênfase em mecanismos de organização de células, controlo da produção e abastecimento de materiais relevantes à reorganização do sistema de produção estudado. Nesta perspectiva os conceitos de linha e célula de produção, no contexto da filosofia de produção *Just-in-Time* (JIT), em que se baseia o BPS, assim como os de *takt time*, tempo de ciclo e balanceamento de linhas e ainda os de *milk run* foram sucintamente apresentados.

Na análise da operação do sistema de produção, foram claramente identificadas as vantagens das duas células em operação em relação à linha de grande dimensão existente, no que concerne à componente ergonómica, à flexibilidade de produção, à eficiência e à facilidade de abastecimento de materiais e de alimentação dos postos e, ainda, de controlo de produção. Neste aspecto, o esquema de planeamento tipo MRP implementado na linha foi substituído por uma abordagem ao controlo centrada no paradigma repetitivo em produção pull, típico da produção JIT. Para a fácil implementação desta abordagem ao controlo das células novas,

desenhadas para substituir esta linha, contribuiu a experiência adquirida na concepção e funcionamento das duas células existentes.

A implantação relativa das duas células novas foi estudada, tendo-se discutido configurações diversas, analisadas à luz de aspectos ergonómicos, logísticos e de operacionalidade, nomeadamente no que concerne, à facilidade de movimentação das pessoas e sua afectação a qualquer delas, do abastecimento de materiais, do espaço disponível e ainda da facilidade de balanceamento e adaptação a taxas de produção variáveis, dos diferentes produtos, resultantes da variação da procura. O objectivo de ajustar o número de operadores à procura foi plenamente conseguido tendo-se definido 4 níveis de variação: 3, 7, 10 e 13 operadores.

Daqui resultou não só um arranjo interno das células como o seu arranjo relativo num enquadramento total das 4 células, i.e. as duas existentes e as duas novas e ainda a forma de distribuição de diferentes níveis de atendimento humano face a 4 níveis de produção diferentes adoptados para cada célula.

Embora sob o ponto de vista do potencial de flexibilidade nas duas células novas não houvesse impedimento em produzir quaisquer artigos, por uma questão de “arrumação” organizacional, simplificação operacional e aumento da repetibilidade de produção, optou-se com vantagem em distribuir os vários modelos de esquentadores em dois grupos, os clássicos e os novos, afectando um a uma das células e o outro à outra. A redução da diversidade de produtos em cada célula criou as condições para melhor eficiência do sistema, i.e. melhor uso dos recursos, e para aumento previsível das taxas de produção de todos os esquentadores além de facilitar o controlo de produção e a variação de produção para ajuste a variações da procura.

Do trabalho realizado ficou também, a percepção de que há necessidade de um trabalho adicional no ajustamento e eventual redesign dos circuitos do *milk run*, por serem complexos e demorados. Isto pode ser atenuado se o *layout* versão 3 vier a ser implementado.

REFERÊNCIAS

Bosch (2004) “Bosch Production System Element Description”

Black, J. T. e Chen, J. C. (1995) “The role of decouplers in JIT pull apparel cells”, *International Journal of Clothing Science and Technology*, vol. 7, n. ° 1,

Silva, S. C. e Alves, A. C. (2004) “A framework for understanding Cellular Manufacturing Systems” In *e-Manufacturing: Business Paradigms and Supporting Technologies*, Ed. João José Pinto Ferreira, Springer, Cap. 17, pp. 163-172

Hitomi, K. (1979) “Manufacturing systems engineering: unified approach to manufacturing technology and production management”, London: Taylor & Francis

Monden, Yasuhiro (1983) “Toyota Production System”, Institute of Industrial Engineers

Womack, J. P. e Jones, D. T. (1996) “Lean Thinking”, Siman & Schuster, New York, USA

Womack, J. P., Jones, D. T. e Roos, D. (1990) “The machine that changes the world”, Rawson Associates, NY